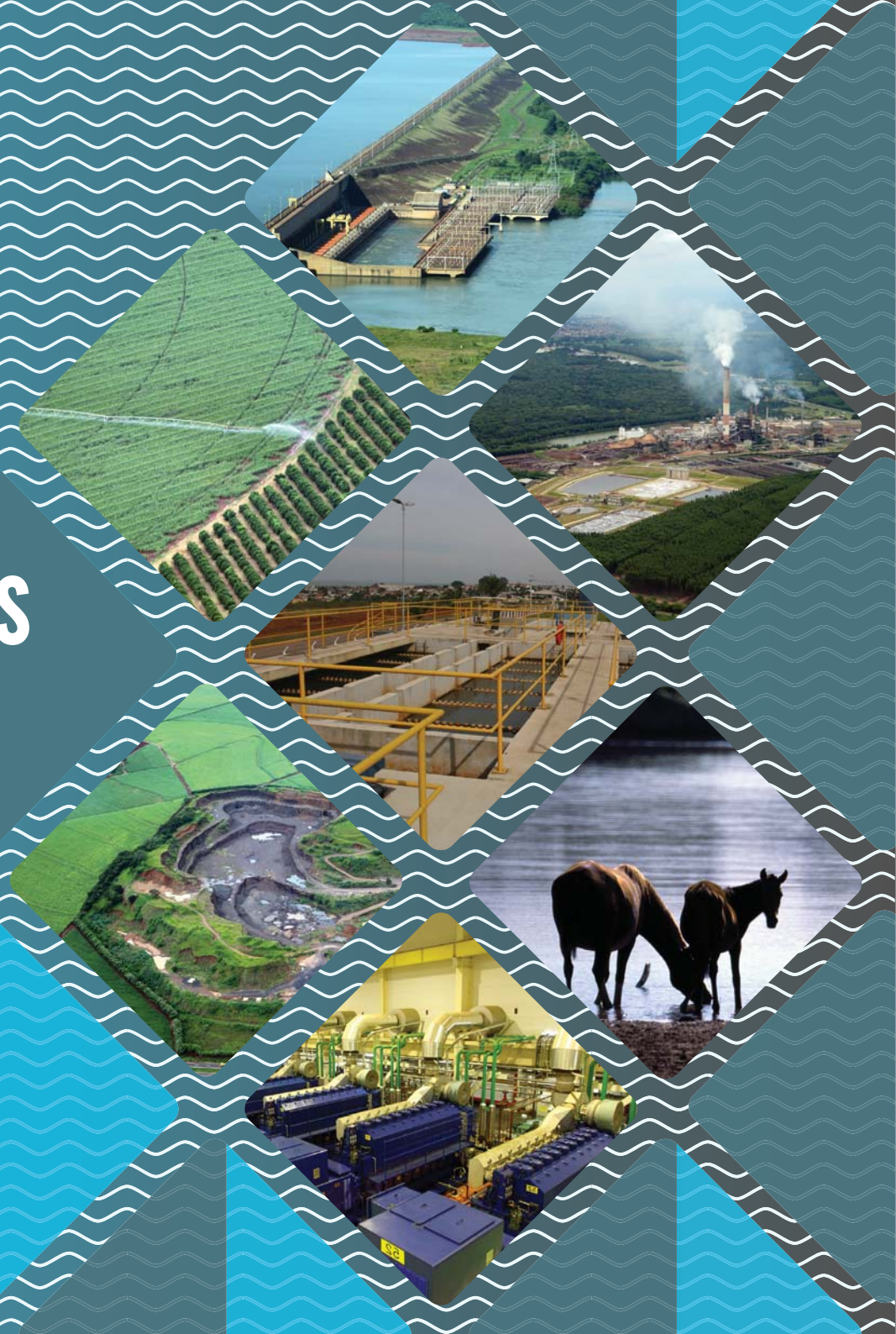


MANUAL de USOS CONSUNTIVOS da ÁGUA no BRASIL



AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS



República Federativa do Brasil

Jair Bolsonaro

Presidente da República

Ministério do Desenvolvimento Regional

Gustavo Henrique Rigodanzo Canuto

Ministro

Agência Nacional de Águas

Diretoria Colegiada

Christianne Dias Ferreira (Diretora-Presidente)

Ney Maranhão

Ricardo Medeiros de Andrade

Oscar Cordeiro Netto

Marcelo Cruz

Secretaria Geral (SGE)

Rogério de Abreu Menescal

Procuradoria Federal (PF/ANA)

Natália de Melo Lacerda

Corregedoria (COR)

Maurício Abijaodi Lopes de Vasconcellos

Auditoria Interna (AUD)

Eliomar Ayres da Fonseca Rios

Chefia de Gabinete (GAB)

Thiago Serrat

Gerência Geral de Estratégia (GGES)

Nazareno Marques de Araújo

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos (SPR)

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Superintendência de Gestão da Rede Hidrometeorológica (SGH)

Marcelo Jorge Medeiros

Superintendência de Operações e Eventos Críticos (SOE)

Joaquim Guedes Correa Gondim Filho

Superintendência de Implementação de Programas e Projetos (SIP)

Tibério Magalhães Pinheiro

Superintendência de Apoio ao Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos (SAS)

Humberto Cardoso Gonçalves

Superintendência de Tecnologia da Informação (STI)

Sérgio Augusto Barbosa

Superintendência de Regulação (SRE)

Rodrigo Flecha Ferreira Alves

Superintendência de Fiscalização (SFI)

Alan Vaz Lopes

Superintendência de Administração, Finanças e Gestão de Pessoas (SAF)

Luís André Muniz

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS
MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO REGIONAL (MDR)

Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil

SUPERINTENDÊNCIA DE PLANEJAMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS (SPR)

BRASÍLIA - DF
ANA
2019

© 2019, Agência Nacional de Águas – ANA.

Setor Policial Sul, Área 5, Quadra 3, Blocos B, L, M e T.

CEP: 70610-200, Brasília – DF.

PABX: (61) 2109-5400 | (61) 2109-5252

Endereço eletrônico: www.ana.gov.br

COMITÊ DE EDITORAÇÃO

Ricardo Medeiros de Andrade

Diretor

Humberto Cardoso Gonçalves

Joaquim Guedes Correa Gondim Filho

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Superintendentes

Rogério de Abreu Menescal

Secretário Executivo

EQUIPE EDITORIAL

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares

Thiago Henriques Fontenelle

Candice Schauffert Garcia

Laertes Munhoz da Cunha

Supervisão editorial

Agência Nacional de Águas

RHA Engenharia e Consultoria SS Ltda

Elaboração dos originais e Produção

Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira

Marcus André Fuckner

Thiago Henriques Fontenelle

Revisão dos originais

Adílio Lemos da Silva

Anderson Araujo de Miranda

Lucas Andrade

Projeto gráfico, diagramação e infográficos

Anderson Araujo de Miranda

Isabela Raquel Ramos lensen

Mapas Temáticos

Banco de imagens da ANA

Fotografias

As ilustrações, tabelas e gráficos sem indicação de fonte foram elaborados pela ANA.

Todos os direitos reservados

É permitida a reprodução de dados e de informações contidos nesta publicação, desde que citada a fonte.

Catálogo na fonte - CEDOC/Biblioteca

A265m

Agência Nacional de Águas (Brasil).

Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil /

Agência Nacional de Águas. - Brasília: ANA, 2019.

75 p.: il.

ISBN: 978-85-8210-057-8

1. Água - Uso. Água - Oferta e Procura I. Título.

CDU 628.1(035)

Elaborada por Fernanda Medeiros – CRB-1/1864

Agência Nacional de Águas

Superintendência de Planejamento de Recursos Hídricos

Coordenação Geral

Sérgio Rodrigues Ayrimoraes Soares
Flávio Hadler Troger

Coordenação Executiva

Thiago Henriques Fontenelle
Gaetan Serge Jean Dubois
Paulo Marcos Coutinho dos Santos
Alexandre Lima de Figueiredo Teixeira

Colaboradores

Adalberto Meller
Ana Catarina Nogueira da Costa Silva
Bolivar Antunes Matos
Daniel Assumpção Costa Ferreira
Elizabeth Siqueira Juliatto
João Augusto Bernaud Burnett
Marcela Ayub Brasil Barreto
Marcus André Fuckner
Wagner Martins da Cunha Vilella

RHA Engenharia e Consultoria

Coordenação Geral

Laertes Munhoz da Cunha
Candice Schauffert Garcia

Coordenação Executiva

Candice Schauffert Garcia

Consultores

Eloy Kavisky
Fabiano Saraiva
Fernando Falco Pruski
Irani dos Santos

Equipe Técnica

Bogodar Szpak
Bruna Daniela de Araujo Taveira
Cesar Augusto Crovador Siefert
Daniele Félix
Fernando Helmuth Syring Marangon
Gilson Bauer Schultz
Isabela Raquel Ramos Iensen
Laisi Bellon Cesconetto
Luiz Fujio Kamogawa
Renata Del Giudice Rodriguez
Rodolpho Humberto Ramina
Wesley Nelson Antal

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	6	5.2 Método e Base de Dados	38	8 EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS	63
1 CONTEXTUALIZAÇÃO	8	5.3 Resultados	40	8.1 Introdução	63
2 ABASTECIMENTO HUMANO.....	14	6 AGRICULTURA IRRIGADA.....	42	8.2 Método e Base de Dados	64
2.1 Introdução	14	6.1 Introdução	42	8.3. Resultados	65
2.2 Método e Base de Dados	16	6.2 Método e Base de Dados	43	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	68
2.3 Resultados	20	6.2.1 Precipitação Efetiva	45	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	70
3 ABASTECIMENTO ANIMAL	23	6.2.2 Evapotranspiração	46		
3.1 Introdução	23	6.2.3 Áreas Irrigadas e Culturas	47		
3.2 Método e Base de Dados	24	6.2.4 Sistemas de Irrigação	49		
3.3 Resultados	28	6.2.5 Cana-de-açúcar e Arroz Inundado	49		
4 INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO.....	30	6.2.6 Vazão Total para Irrigação	54		
4.1 Introdução	30	6.3 Resultados	55		
4.2 Método e Base de Dados	31	7 TERMOELETRICIDADE	57		
4.3 Resultados	34	7.1 Introdução	57		
5 MINERAÇÃO	37	7.2 Método e Base de Dados	58		
5.1 Introdução	37	7.3 Resultados	61		

APRESENTAÇÃO

Canal Sistema Barragem - Pedra do Cavalo - BA
Eraldo Peres - Banco de imagens/ANA

O Brasil é um país privilegiado quanto à disponibilidade hídrica total, no entanto a ocorrência da água é desigual no território e durante o ano, bem como a demanda por sua utilização e a infraestrutura hídrica adequada para o seu aproveitamento e conservação. A cultura da abundância hídrica tem sido progressivamente substituída pela ideia da água como bem finito e dotado de valor econômico, tornando as análises do balanço entre usos e oferta hídrica cada vez mais importantes, ao revelar regiões de déficits de acesso à água e risco aos setores produtivos.

No desempenho de sua missão institucional de garantir a segurança hídrica para o desenvolvimento sustentável do Brasil, a Agência Nacional de Águas – ANA, entidade responsável pela implementação da Política Nacional de Recursos Hídricos – PNRH e pela coordenação da gestão compartilhada e integrada no âmbito do SINGREH – Sistema Nacional de Gerenciamento dos Recursos Hídricos, busca permanentemente a ampliação do conhecimento sobre o balanço hídrico em todo território nacional.

Essa ampliação ocorre por meio de estudos que resultam em avanços metodológicos, levantamentos de dados primários, desenvolvimento tecnológico e parcerias com instituições de referência. Informações consistentes e atualizadas sobre o balanço hídrico quantitativo nacional, ou seja, a relação entre as ofertas e as demandas de água, em escalas adequadas, são fundamentais às tomadas de decisão necessárias para garantia da segurança hídrica à população e ao desenvolvimento das atividades econômicas.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil é parte de um estudo abrangente, que contemplou a definição de métodos, a construção de bases de dados e a produção, armazenamento e disponibilização de resultados

de estimativas de usos consuntivos da água para todos os municípios brasileiros, acompanhando a evolução da malha territorial desde 1931 (1.365 municípios) até a atualidade (5.570 municípios). Também foram realizadas projeções das demandas até 2030, totalizando, portanto, 100 anos de investigação sobre os usos da água.

As categorias de usos da água consideradas são o abastecimento humano (urbano e rural), o abastecimento animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoelectricidade e a irrigação. Adicionalmente, foi realizado um diagnóstico da evaporação líquida de reservatórios artificiais que, individualmente, podem estar associados a um uso específico da água (irrigação, aquicultura, abastecimento público, geração de energia etc.) ou atender usos múltiplos.

No desenvolvimento desse estudo, foram analisados os métodos e as bases de dados utilizadas em trabalhos anteriores, incorporando os procedimentos considerados relevantes e propondo avanços consequentes da disponibilidade de novas bases de dados e de progressos tecnológicos para o processamento de informações. Dentre esses estudos prévios destacam-se, em escala nacional, os primeiros levantamentos elaborados para o Plano Nacional de Recursos Hídricos (ANA, 2005; Brasil, 2006) e para o primeiro relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2009), além de importantes esforços de estimativas de usos da água conduzidos pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico - ONS (2003; 2005) e pelo Ministério do Meio Ambiente - MMA (Brasil, 2011).

Quanto aos métodos, foram investigados os coeficientes técnicos disponíveis na literatura e sua aderência aos dados disponíveis, resultando em revisões expressivas de coeficientes até então adotados. No caso da indústria, do abastecimento urbano e da irrigação, que

respondem por mais de 80% do uso da água no País, esse estudo apresenta coeficientes inéditos, com elevado grau de detalhamento.

Quanto às bases de dados para aplicação de coeficientes, novas fontes e tipos de dados também foram pesquisados e adotados, sempre na busca constante de aprimoramento do resultado final, que retrata as ações humanas intervenientes na demanda hídrica e, consequentemente, no balanço hídrico nacional. Bases de dados históricas também foram recuperadas em documentos analógicos, revistas, consistidas e preenchidas utilizando critérios técnicos atuais. Esses critérios incluíram maior precisão na agregação e desagregação de dados municipais, acompanhando a evolução da malha territorial brasileira, que passou por profundas transformações no período analisado.

Para fins de apresentação dos resultados, o diagnóstico tem como ano-base 2017, e o prognóstico o horizonte 2030. As séries de vazões de usos consuntivos foram geradas em consonância com a evolução da malha municipal, tendo como insumo as variáveis que influenciam as demandas, selecionadas por sua disponibilidade e representatividade, bem como as matrizes de coeficientes técnicos e outras informações associadas. A base territorial da maior parte das informações é o município.

O primeiro capítulo contextualiza os principais conceitos associados à estimativa de demandas da água, bem como os principais números e tendências observados nos resultados globais e setoriais. Os demais capítulos detalham, por uso, as metodologias, bases de dados e principais resultados, iniciando pelo abastecimento humano (urbano e rural) e seguindo com o abastecimento animal, a indústria de transformação, a mineração, a agricultura irrigada, a termoelectricidade e a evaporação líquida de reservatórios artificiais. Nesse último

uso, as séries foram estimadas apenas para o período mais recente, em função da indisponibilidade de dados históricos sobre área ocupada e datas de construção e enchimentos.

O Manual fornece, portanto, uma nova base técnica sobre os usos da água no Brasil, tanto em termos metodológicos quanto dos resultados gerados e suas aplicações. Ao ser a referência do País sobre o tema, deve ser ponto de partida para o seu aprimoramento contínuo em escala nacional, bem como para iniciativas relacionadas ao refinamento e à adaptação dos métodos e das estimativas de vazões de usos consuntivos da água a especificidades regionais, sazonais e setoriais.

Resultados desagregados das séries de usos consuntivos, por município, bem como mapas interativos e painéis de indicadores, podem ser acessados no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, em www.snirh.gov.br > Usos da Água.

1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Plantações e pecuária às margens de braço do rio Grande em Indiaporã - SP
Eraldo Peres - Banco de Imagens/ANA

Um uso é considerado consuntivo quando a água retirada é consumida, parcial ou totalmente, no processo a que se destina, não retornando diretamente ao corpo d'água. O consumo pode ocorrer por evaporação, transpiração, incorporação em produtos, consumo por seres vivos, dentre outros. A definição e a estimativa de consumo pode ser subjetiva e variar em função das diferentes aplicações das estimativas.

Usos da água como a navegação, a pesca, o turismo e o lazer não afetam diretamente a quantidade de água local, embora dela dependam, sendo considerados usos não consuntivos, não perfazendo o escopo desse estudo.

Os principais usos consuntivos da água no Brasil são o abastecimento humano (urbano e rural), o abastecimento animal, a indústria de transformação, a mineração, a termoeletricidade, a irrigação e a evaporação líquida de reservatórios artificiais. Para cada uso são caracterizadas as vazões de retirada (montante captado no corpo hídrico), de consumo (fração da retirada que não retorna ao corpo hídrico) e de retorno (fração da retirada que retorna ao corpo hídrico) (Figura 1).

A estimativa do uso da água é um desafio, especialmente considerando a escala espacial (nacional, por município) e temporal (mensal, de 1931 a 2030). Inventários de medições são escassos no Brasil, mesmo na escala de um único município ou de uma pequena bacia hidrográfica.

O inventário de cadastros e outorgas (autorizações) de uso da água é útil para diversas aplicações, mas também não garante precisão quanto aos volumes efetivamente utilizados, visto que o valor outorgado tende a um limite máximo de abastecimento, a exemplo de uma indústria operando com 100% da capacidade instalada ou de um município que visa atender sua crescente população em um horizonte futuro. As vazões médias efetivas tendem a ser inferiores, especialmente para grandes usuários.

Adicionalmente, a maior parte das outorgas é emitida pelos Estados, que estão em diferentes estágios de implementação dos instrumentos de gestão de recursos hídricos, ou seja, com diferentes níveis de cobertura e consistência das outorgas frente ao universo de usuários.

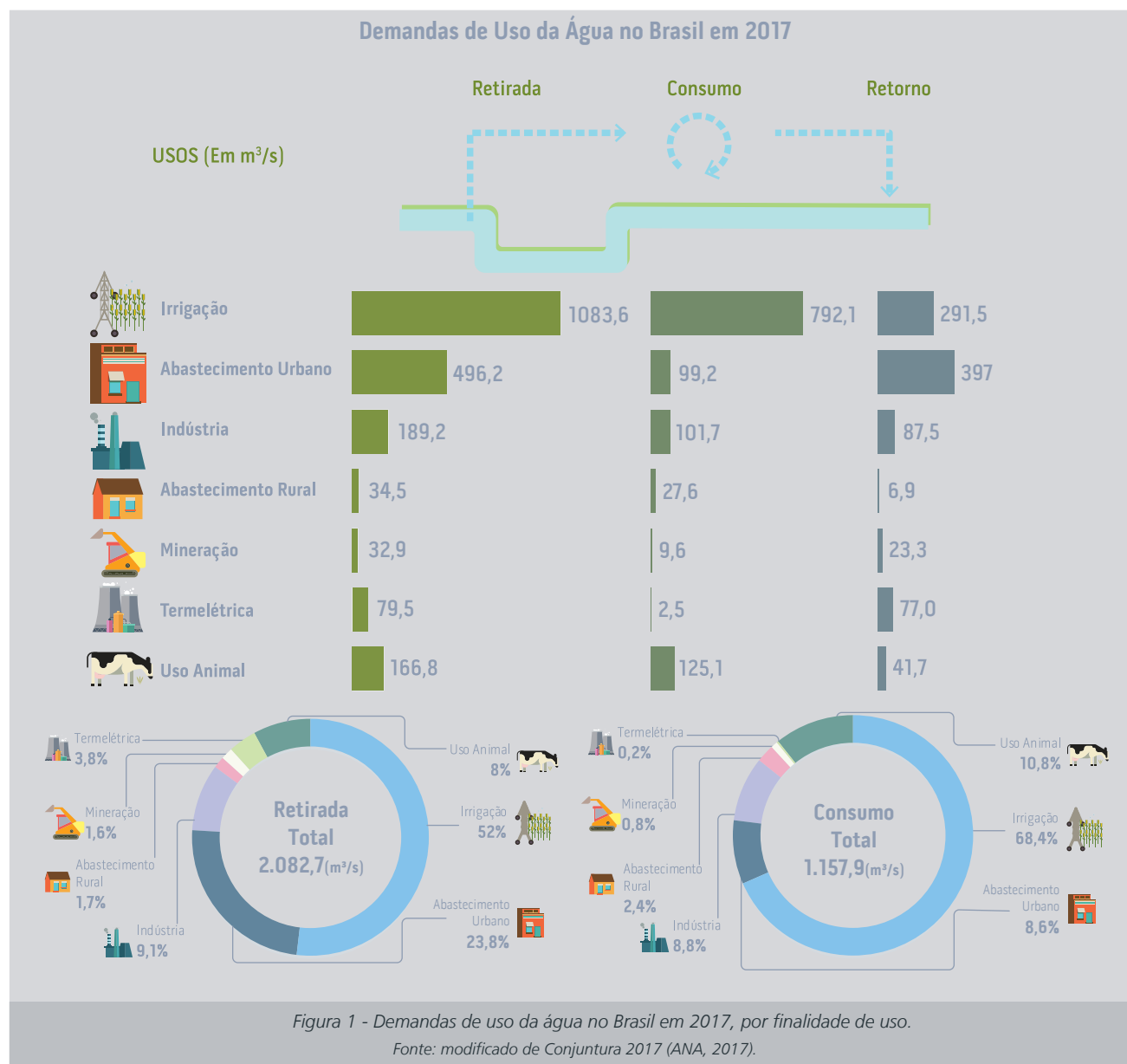
As metodologias indiretas surgem como alternativa necessária para o cálculo do uso da água, orientando o planejamento e a gestão setorial e de recursos hídricos. De forma geral, essas metodologias utilizam coeficientes técnicos que associam variáveis inventariadas (população, por exemplo) a uma necessidade média de água (litros por habitante por ano, por exemplo).

Os coeficientes técnicos são geralmente calculados a partir de medições com elevado grau de precisão, sendo sua aplicação nas estimativas uma extrapolação espacial e temporal. A aplicação desses coeficientes é comum nos estudos nacionais e internacionais de referência.

O presente estudo investigou os métodos e bases de dados até então adotados no Brasil e internacionalmente, propondo mudanças expressivas para refinamento das demandas hídricas, em todos os usos. Os próximos capítulos detalham para cada uso as etapas e critérios da estimativa atual de uso da água.

A seguir são destacados os números gerais e as principais tendências e padrões observados nos usos consuntivos da água. Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br/ usos-da-agua.

A Figura 1 apresenta as estimativas para o País (retirada, consumo e retorno). Atualmente, desconsiderando a evaporação líquida em reservatórios artificiais (uso múltiplo), a irrigação é responsável por 52% das retiradas de água, seguida pelo abastecimento urbano (23,8%), indústria de transformação (9,1%) e abastecimento animal (8%). Já em relação ao consumo, devido as diferentes proporções de retorno médio aos corpos d'água,



a proporção dos usos no consumo total se altera, com aumento da relevância da irrigação e diminuição do abastecimento urbano (Figura 1). Destaca-se a estimativa inédita do uso para geração termelétrica - uso que tem se tornado cada vez mais relevante na atualidade.

A demanda por água no Brasil é crescente, com aumento estimado de aproximadamente 80% no total retirado nas últimas duas décadas (Figura 2). A previsão é de que ocorra um aumento de 24% na demanda até 2030.

O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do País. Na década de 1940, o uso preponderante da água nos municípios brasileiros era para abastecimento humano rural e abastecimento

animal. Com o desenvolvimento econômico e o avanço da urbanização, a situação atual revela maior diversidade de usos, com ampliação da importância do uso urbano e relevante expansão dos usos industrial e para a agricultura irrigada (Figuras 2 e 3).

No período recente, verifica-se uma leve redução do crescimento a partir de 2012 (Figura 2), fato relacionado à crise hídrica verificada em diversas regiões do país, assim como à desaceleração do crescimento econômico brasileiro. O impacto negativo é mais sensível no setor industrial. Observa-se também a partir de 2012 um aumento do uso da água para geração termelétrica, em função da necessidade de ativação dessa fonte de energia complementar, ocasionada pela redução no volume

de água disponível para geração hidroelétrica.

Na Região Norte prevalecem atualmente as retiradas de água para termelétricas e abastecimento humano urbano (Figura 3). No Sudeste prevalece o abastecimento urbano e nas demais regiões prevalece o uso para a agricultura irrigada.

A agricultura irrigada é o uso predominante no Sul desde a década de 1930, refletindo o pioneirismo do Rio Grande do Sul nessa prática, notadamente na produção de arroz sob inundações. Já no Nordeste a agricultura irrigada se configura como principal uso na segunda metade da década de 1990, superando o abastecimento urbano - reflexo de grandes investimentos públicos em infraestrutura hídrica e financiamentos. No Centro-

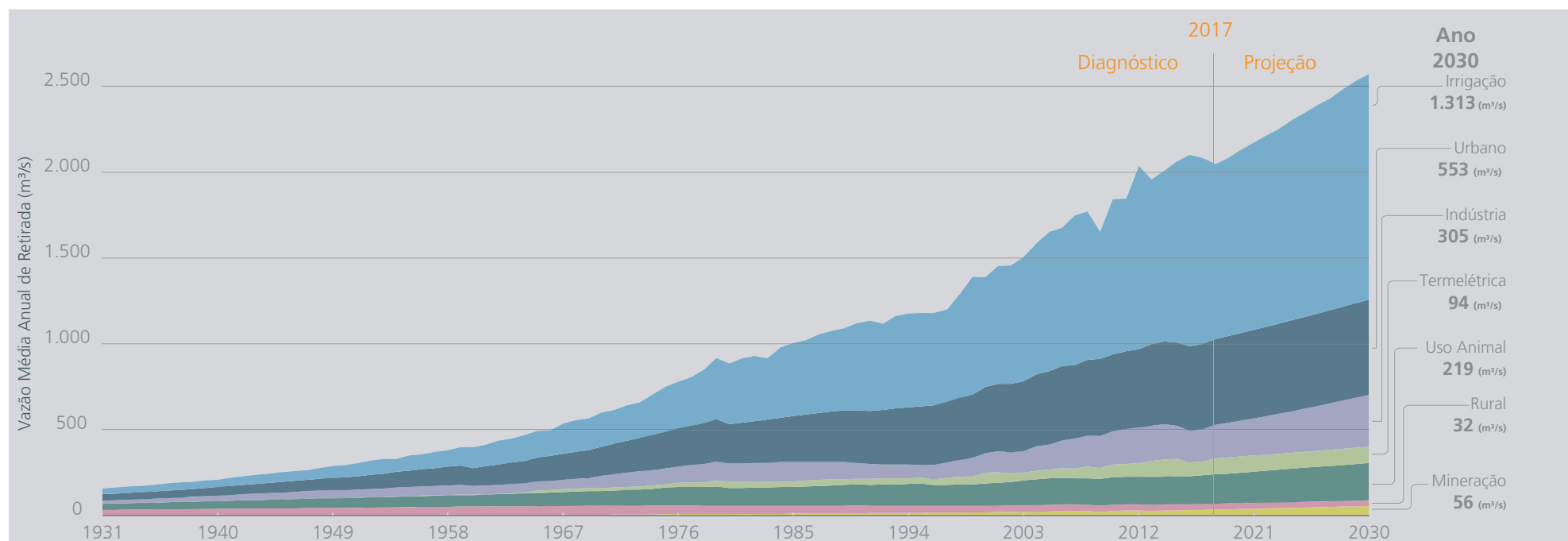
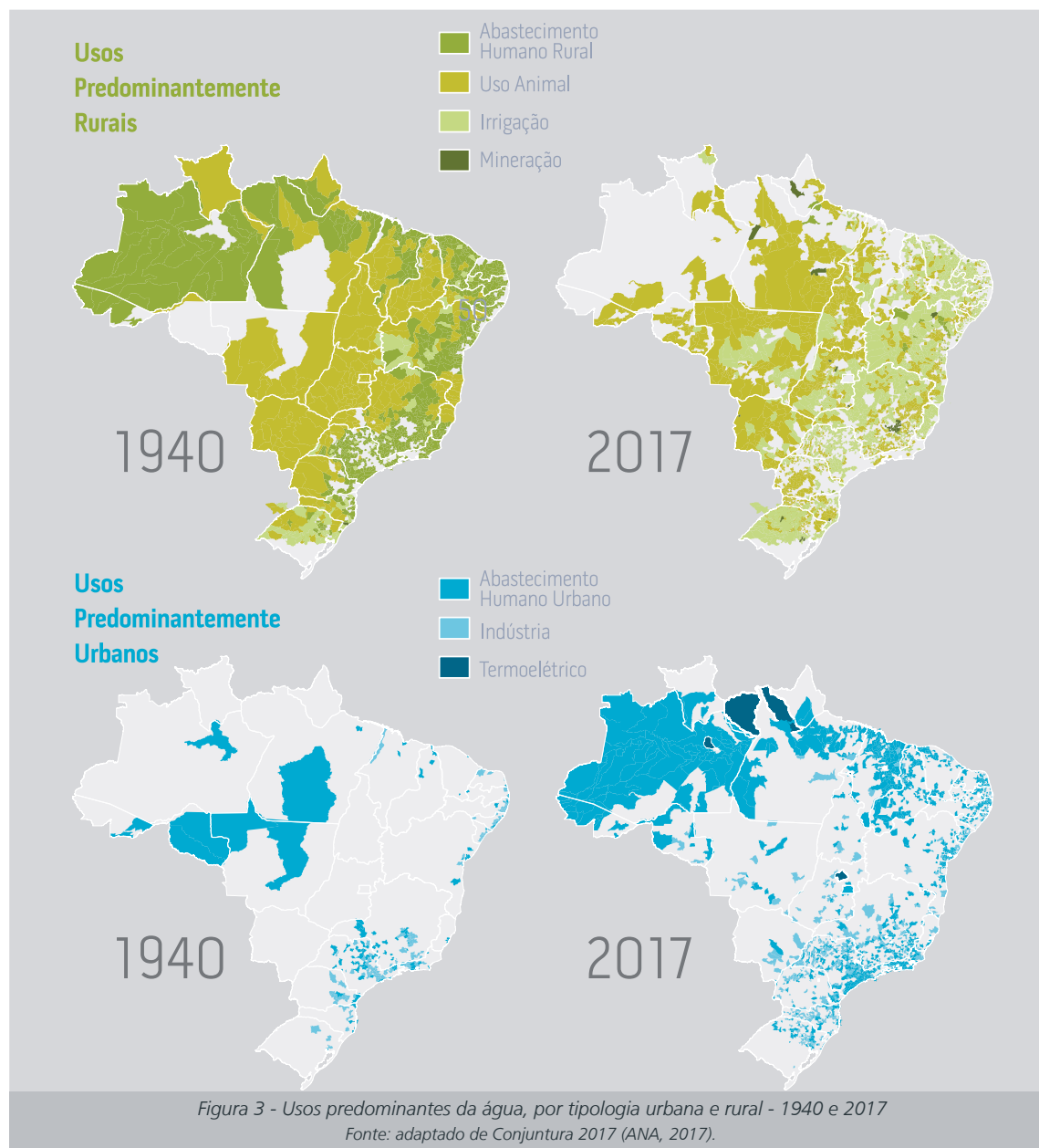


Figura 2 - Evolução da retirada de água no Brasil (1931-2030)



-Oeste, a predominância do uso para agricultura irrigada é ainda mais recente, em meados dos anos 2000, superando o uso para abastecimento animal. Para o Sudeste, as projeções apontam que a irrigação superará as retiradas para abastecimento urbano em 2020 - deixando o Norte como única região onde esse uso não será preponderante.

A Figura 4 apresenta uma síntese das demandas totais de uso da água (retirada) por Região Hidrográfica, destacando ainda a proporção dentre os diversos setores. A Figura 5 apresenta uma síntese dos resultados no Brasil.



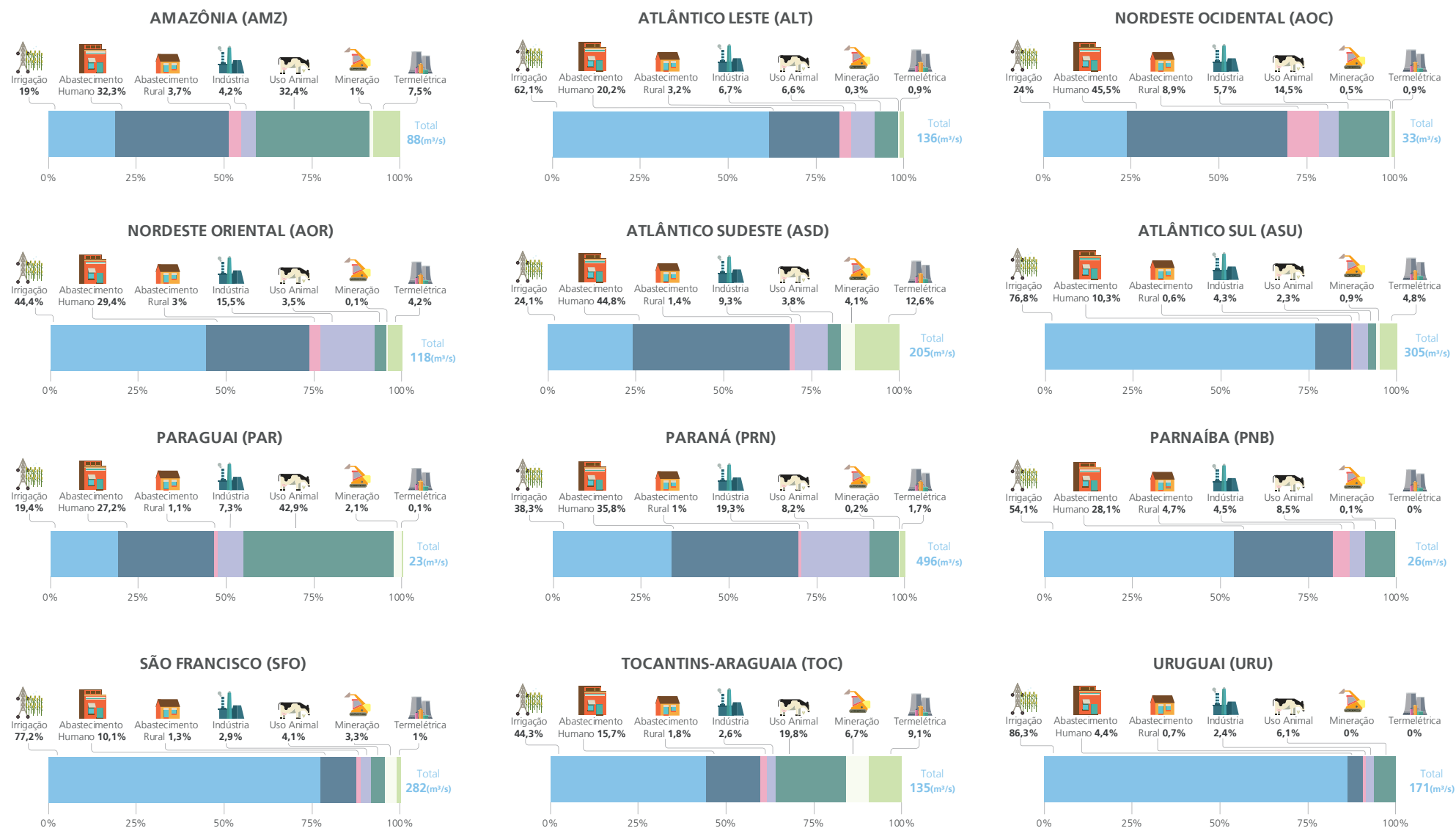
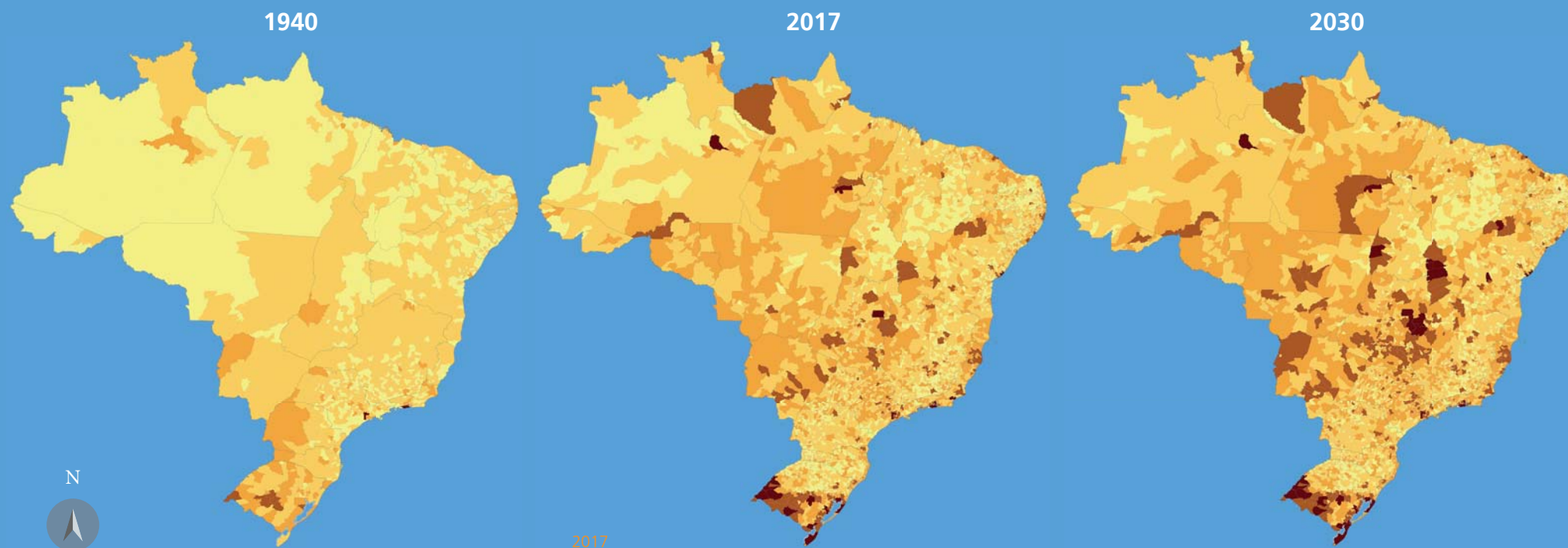
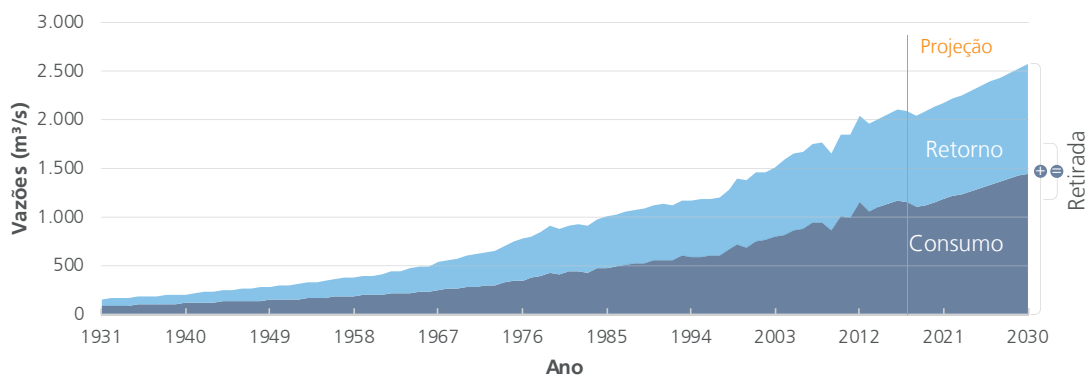


Figura 4 - Demandas de uso da água nas Regiões Hidrográficas - 2017 (continuação)

Figura 5 - Séries de Vazões 1931 a 2030 – Resultados dos Usos Consuntivos no Brasil



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Usos Consuntivos no Brasil

Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)	Uso Predominante
1º	SP	São Paulo	46,026	Abastecimento Humano Urbano
2º	RJ	Rio de Janeiro	45,283	Abastecimento Humano Urbano
3º	RS	Uruguaiana	24,405	Irrigação
4º	RS	Santa Vitória do Palmar	24,376	Irrigação
5º	RS	Alegrete	22,030	Irrigação
6º	RS	Itaqui	20,874	Irrigação
7º	BA	Juazeiro	18,261	Irrigação
8º	RS	São Borja	16,771	Irrigação
9º	PE	Petrolina	16,009	Irrigação
10º	RS	Mostardas	15,794	Irrigação

Observa-se, dentre os dez municípios brasileiros com maior retirada de água, o atendimento à demanda das maiores capitais do País (Rio de Janeiro e São Paulo), tendo como uso preponderante o abastecimento humano urbano. Os demais municípios têm como uso preponderante a irrigação, sendo áreas de uso intensivo para produção de arroz sob inundação (municípios do Rio Grande do Sul) ou de produção de frutas e cana-de-açúcar no Semiárido (Petrolina e Juazeiro).

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usos-da-gua

2 ABASTECIMENTO HUMANO

Estação de Tratamento de Água (ETA) - Santa Bárbara - SP
Tomás May - Banco de Imagens/ANA

2.1 Introdução

A Lei das Águas (Lei nº 9.433/1997) reconhece o abastecimento humano e a dessedentação animal como usos prioritários da água em situações de escassez. O abastecimento engloba o uso doméstico ou residencial (urbano e rural) e nos setores comercial e de serviços.

Além de sua importância como o segundo maior uso do País, o abastecimento urbano ocorre de forma concentrada no território, acarretando em crescente pressão sobre os sistemas produtores de água. As recentes crises hídricas em mananciais de abastecimento, como as enfrentadas pelas regiões metropolitanas de São Paulo, Rio de Janeiro e Belo Horizonte, assim como pelo Distrito Federal, ampliaram a discussão sobre a segurança hídrica de áreas de concentração populacional abastecidas por sistemas complexos.

A demanda de abastecimento rural, por outro lado, vem decrescendo nacionalmente em função da retração da população no campo. Entretanto, ainda responde pelo abastecimento de 30 milhões de pessoas, que muitas vezes se concentram em regiões de baixa disponibilidade hídrica.

Idealmente, a contabilização dos volumes retirados e consumidos deve estar baseada no inventário e séries históricas medidas, todavia, em virtude da indisponibilidade e consistência de dados, usualmente se utilizam estimativas indiretas para a avaliação e projeção das demandas.

Nessa linha, os estudos realizados anteriormente foram desenvolvidos, de forma geral, com base em métodos semelhantes entre si, variando de acordo com a disponibilidade de dados. A maior parte dos métodos utiliza, sobretudo, o contingente populacional e coeficientes de uso per capita (litros por habitante por dia) como variável explicativa para as estimativas.

Importante fonte anual de dados, o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS foi implementado em 1995. Trata-se de um sistema de coleta, tratamento, consolidação e disponibilização de informações dos sistemas operacionais de água, esgoto e águas pluviais. O SNIS vem evoluindo sua cobertura e abarca atualmente cerca de 90% dos municípios brasileiros e 95% da população urbana com informações sobre água, aproximando-se do caráter censitário.

Esse capítulo apresenta o método e as variáveis explicativas utilizadas para a geração das séries de demanda hídrica destinadas ao abastecimento humano urbano e rural (1931-2030). Levando-se em consideração o arcabouço metodológico dos estudos já desenvolvidos no Brasil e no mundo, a diretriz apresentada para o presente estudo teve como base a utilização de coeficientes técnicos municipais, produzidos a partir de dados inventariados no SNIS, além das contagens e estimativas populacionais oficiais no Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE.

Considera-se que o avanço metodológico consequente da utilização dessas bases fornece uma nova referência técnica sobre as demandas de abastecimento humano dos muni-

cípios brasileiros, retratando com maior precisão a situação atual e as perspectivas de crescimento.

Como grandes números do uso da água para abastecimento humano, estima-se que em 2017 foram retirados 496,2 m³/s para abastecimento urbano e 34,5 m³/s para uso rural. Esses valores representam 23,8% e 1,7% do uso consuntivo total do País, desconsiderando a evaporação líquida de reservatórios artificiais.

As Figuras 6 e 7 ilustram a variação das vazões de retirada para fins de abastecimento urbano e rural nas unidades federativas. Destaca-se o estado de São Paulo, com vazões de retirada da ordem de 135 m³/s para abastecimento urbano, o que corresponde a quase quatro vezes a retirada de água para o abastecimento rural de todo o País.

Como referência das variações nas regiões brasileiras, a Figura 8 apresenta os percentuais destas em relação à retirada total, refletindo a distribuição populacional e os padrões de uso. Destaca-se a concentração da população rural no Nordeste - com forte participação desta em áreas de escassez contínua de água no Semiárido.

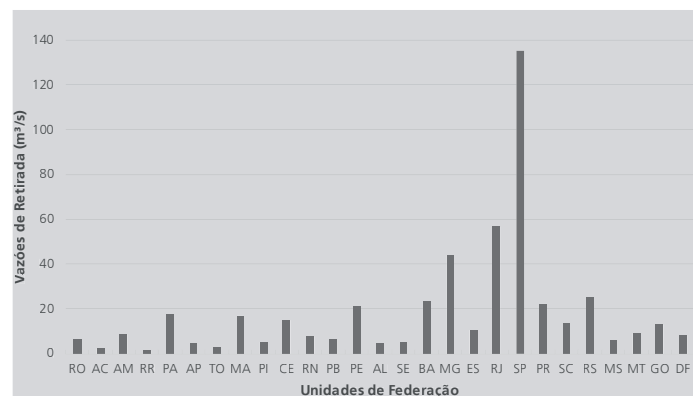


Figura 6 - Vazões de Retirada (m³/s) para Abastecimento Humano Urbano nas UFs

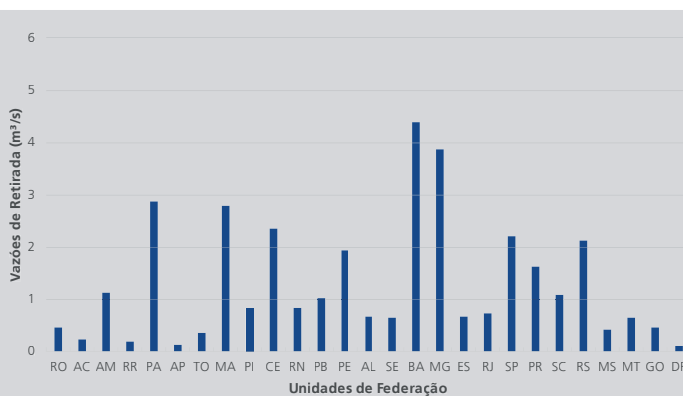


Figura 7 - Vazões de Retirada (m³/s) para Abastecimento Humano Rural Nas UFs

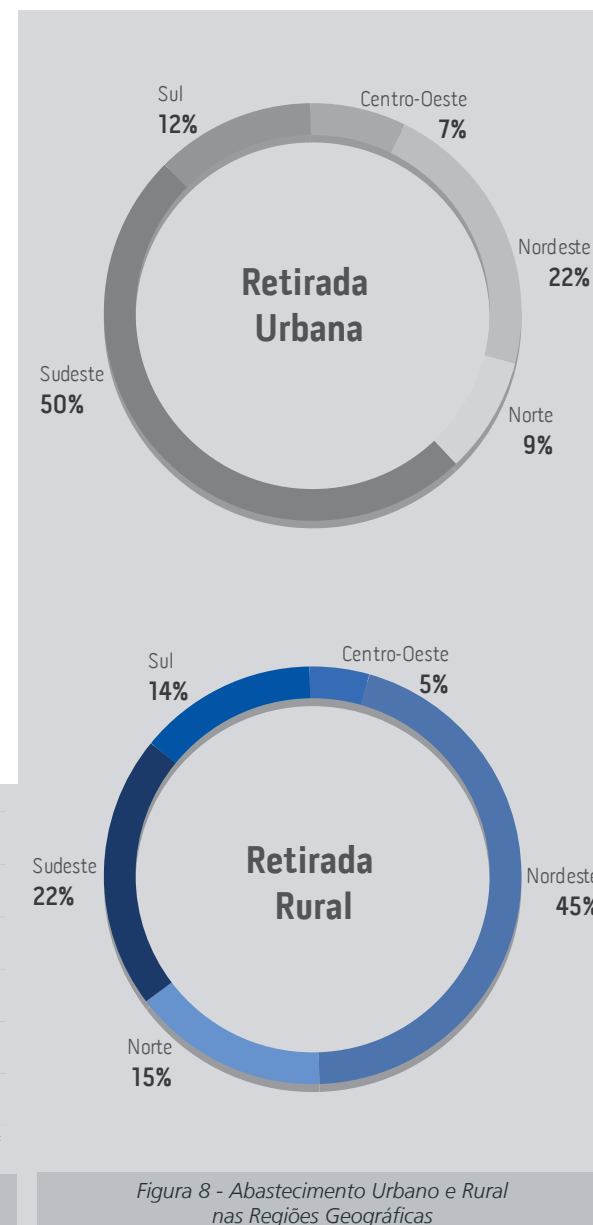
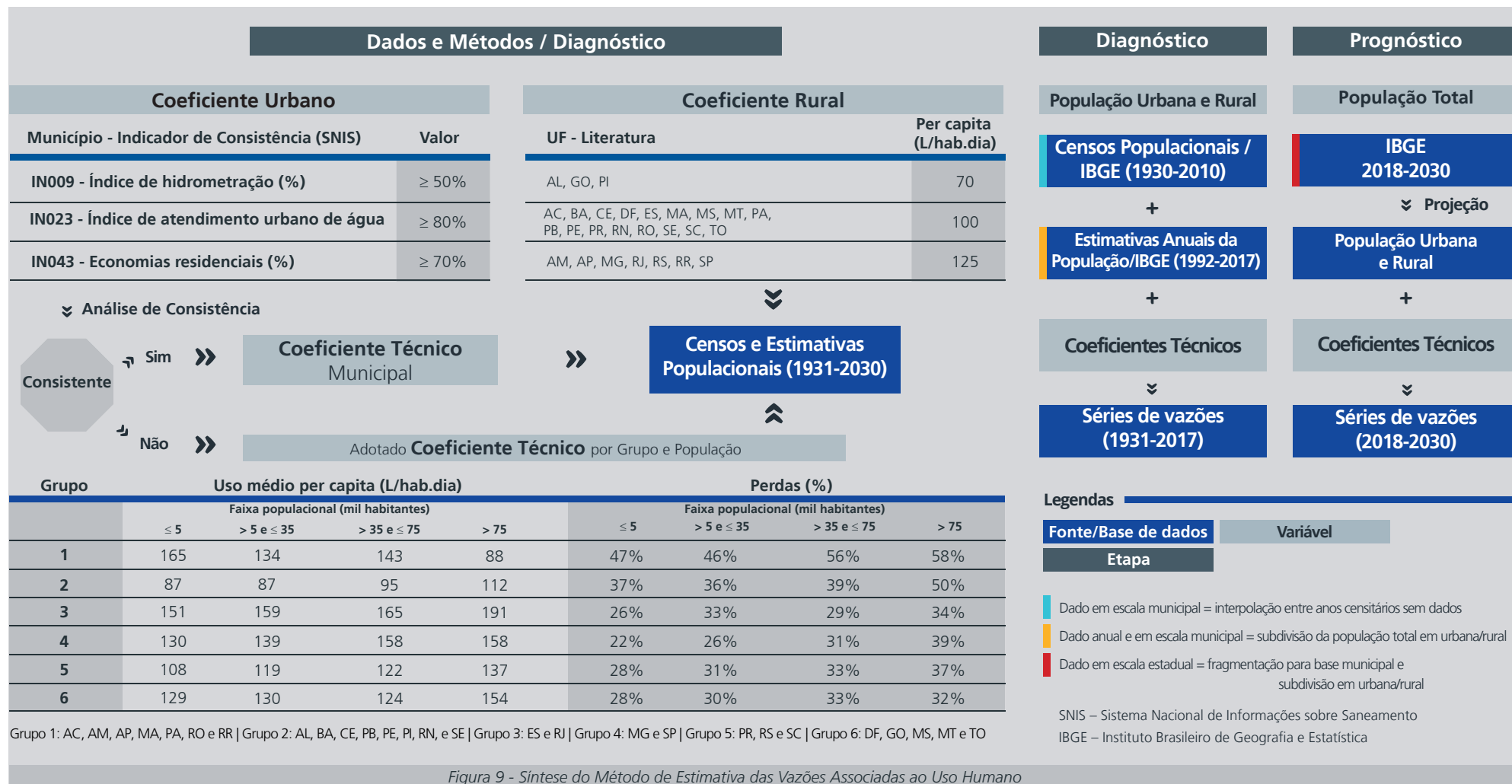


Figura 8 - Abastecimento Urbano e Rural nas Regiões Geográficas

2.2 Método e Base de Dados

O fluxograma (Figura 9) apresenta uma síntese do método de estimativa das vazões associadas ao uso humano urbano e rural.



Grupo	Uso médio per capita (L/hab.dia)				Perdas (%)			
	Faixa populacional (mil habitantes)				Faixa populacional (mil habitantes)			
	≤ 5	> 5 e ≤ 35	> 35 e ≤ 75	> 75	≤ 5	> 5 e ≤ 35	> 35 e ≤ 75	> 75
1	165	134	143	88	47%	46%	56%	58%
2	87	87	95	112	37%	36%	39%	50%
3	151	159	165	191	26%	33%	29%	34%
4	130	139	158	158	22%	26%	31%	39%
5	108	119	122	137	28%	31%	33%	37%
6	129	130	124	154	28%	30%	33%	32%

Grupo 1: AC, AM, AP, MA, PA, RO e RR | Grupo 2: AL, BA, CE, PB, PE, PI, RN, e SE | Grupo 3: ES e RJ | Grupo 4: MG e SP | Grupo 5: PR, RS e SC | Grupo 6: DF, GO, MS, MT e TO

Figura 9 - Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas ao Uso Humano

O método para estimativa do abastecimento urbano e rural baseia-se na aplicação de **coeficientes técnicos** às contagens e **estimativas populacionais**. Esse estudo apresenta uma nova base de coeficientes urbanos, explorando de forma mais aprofundada as bases de dados do SNIS. Quanto aos dados populacionais, foram aplicadas na íntegra as informações disponibilizadas pelo IBGE, além de realizados preenchimentos e estimativas em anos sem informação ou sem distinção entre população urbana e rural.

A utilização de informações desagregadas do SNIS para a definição de coeficientes urbanos per capita amplia a sua aplicabilidade e confiabilidade para estimativas de uso da água.

O SNIS disponibiliza anualmente informações gerais de água e esgotos, bem como indicadores operacionais (Brasil, 2018). As informações gerais dizem respeito aos valores brutos obtidos na operação das prestadoras. Denotados com o prefixo “AG” para informações pertinentes a operação de água estes valores são utilizados de maneira combinada para obtenção de indicadores operacionais (“IN”). A Tabela 1 apresenta algumas informações e indicadores, com respectivas descrições, utilizados para geração ou análise de consistência dos coeficientes de uso da água municipais. A Figura 10 detalha os critérios para análise de consistência e obtenção dos coeficientes urbanos.

Diferente de outros usos, no abastecimento humano urbano os valores de retirada são estimados a partir de outros dois indicadores: o **uso per capita** (água que potencialmente chega aos usuários) e as **perdas** nas redes de distribuição (água perdida entre a captação e o usuário final). O uso corresponde aos volumes distribuídos que efetivamente são disponibilizados aos habitantes (volumes hidrometrados nas residências + volumes estimados para habitantes sem medição). A perda corresponde a parcela do volume de retirada que não é con-

vertido em uso, decorrente potencialmente de falhas e vazamentos na rede de distribuição (perda física), mas que também pode incorporar parcelas de perda aparente (água usada, mas não contabilizada por falhas de medição ou ligações clandestinas).

Para obtenção dos indicadores municipais de uso e de perdas, a primeira verificação dos dados do SNIS visa garantir a representatividade da amostra: a hidrometração (IN009) deve ser superior a 50%, garantindo que os dados informados pelo prestador tenham parcela maior de medição do que de estimativa; o atendimento urbano de água (IN023) deve cobrir mais de 80% da população do município, garantindo boa representatividade do coeficiente; e a participação das economias residenciais (IN043) deve ser superior a 70%, diminuindo a influência dos setores comercial e de serviços e algumas indústrias de menor porte que possam impactar de forma mais expressiva os valores municipais.

Para os municípios que atendem aos critérios, os valores de uso per capita e perda são calculados (Equações 1 e 2), verificando se os valores são consistentes com os limites mínimo e máximo estabelecidos (Figura 10).

Para os municípios que não atenderam aos critérios anteriores, é avaliado o uso do IN022 como indicador de uso per capita (consumo médio per capita de água, calculado pelo SNIS).

Após essas etapas de análise, concluiu-se que para 85% dos municípios brasileiros, abarcando cerca de 95% da população urbana, foram obtidos indicadores do próprio município, sem a necessidade de adotar coeficientes teóricos ou médios (do Estado ou do prestador).

Para preenchimento dos dados de uso per capita e/ou perda média dos municípios que não informaram dados ao SNIS ou não atenderam aos critérios de consistência, foi elaborada, com base nos municípios com dados, uma tabela de referência. Essa matriz agrupa os indicadores

por faixa populacional e grupos de UFs com características similares de uso e de perdas (Figura 9). Entretanto, só foi necessário esse preenchimento em 15% dos municípios que correspondem a 5% da população urbana.

Cabe registrar que os coeficientes obtidos são representativos das populações atendidas pela rede pública de distribuição de água. Entretanto, para estimativa da demanda, foi considerada a população urbana total, assumindo que a demanda e as perdas per capita das populações não atendidas pela rede são iguais às da população atendida. Ademais, registra-se que 93% da população urbana brasileira já era atendida por rede em 2016 (Brasil, 2018).

Quanto aos **coeficientes de consumo e de retorno**, na presente publicação o retorno corresponde a 80% da retirada, com base na recomendação da NBR 9649 da ABNT. Assim, o consumo corresponde a 20% da retirada.

Destaca-se, por outro lado, que a desagregação dos coeficientes municipais em uso e perdas permite que, para diferentes aplicações, sejam adotados percentuais de **consumo/retorno** diferenciados. Na geração de efluentes, por exemplo, as perdas na rede de distribuição não possuem impacto expressivo na qualidade da água e o consumo pode ser calculado apenas sobre a água que chega aos usuários e, portanto, é parcialmente convertida em efluente.

Com os indicadores de uso per capita e de perda calculados (Equações 1 e 2) ou preenchidos para todos os municípios, os coeficientes per capita de retirada, consumo e retorno são calculados de acordo com as Equações 3 a 5.

Tabela 1 - Informações e indicadores disponibilizados pelo SNIS, relevantes para a estimativa de coeficientes per capita

Item	Nome	Descrição
AG001	População total atendida com abastecimento de água (Habitantes)	Valor da população total atendida com abastecimento de água pelo prestador de serviços, no último dia do ano de referência. Corresponde à população urbana que é efetivamente atendida com os serviços acrescida de outras populações atendidas localizadas em áreas não consideradas urbanas. Essas populações podem ser rurais ou mesmo com características urbanas, apesar de estarem localizadas em áreas consideradas rurais pelo IBGE. Caso o prestador de serviços não disponha de procedimentos próprios para definir de maneira precisa essa população, o mesmo poderá estimá-la utilizando o produto da quantidade de economias residenciais ativas de água, multiplicada pela taxa média de habitantes por domicílio do respectivo município
AG002	Quantidade de ligações ativas de água (Ligações)	Quantidade de ligações ativas de água à rede pública, providas ou não de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG003	Quantidade de economias ativas de água (Economias)	Quantidade de economias ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG004	Quantidade de ligações ativas de água micro medidas (Ligações)	Quantidade de ligações ativas de água, providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG006	Volume de água produzido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água disponível para consumo, medido ou estimado na (s) saída (s) da (s) ETA (s) ou UTS (s). Inclui também o volume de água captada pelo prestador de serviços ou de água bruta importada (AG016), que seja disponibilizado para consumo sem tratamento, medido na (s) respectiva (s) entrada (s) do sistema de distribuição. Esse volume pode ter parte dele exportada para outro (s) municípios (s) atendido (s) ou não pelo mesmo prestador de serviços.
AG008	Volume de água micro medido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água medido pelos hidrômetros instalados nas ligações ativas de água. Não deve ser confundido com o volume de água consumido, identificado pelo código AG010, pois nesse último incluem-se, além dos volumes medidos, também aqueles estimados para os usuários de ligações não medidas.
AG010	Volume de água consumido (1.000 m³/ano)	Volume anual de água consumido por todos os usuários, compreendendo o volume micro medido (AG008), o volume de consumo estimado para as ligações desprovidas de hidrômetro ou com hidrômetro parado, acrescido do volume de água tratada exportado (AG019) para outro prestador de serviços.
AG013	Quantidade de economias residenciais ativas de água (Economias)	Quantidade de economias residenciais ativas de água, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG014	Quantidade de economias ativas de água micro medidas (Economias)	Quantidade de economias ativas de água, cujas respectivas ligações são providas de hidrômetro, que estavam em pleno funcionamento no último dia do ano de referência.
AG018	Volume de água tratada importado (1.000 m³/ano)	Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), recebido de outros agentes fornecedores. Não deve ser computado nos volumes de água produzido (AG006)
AG019	Volume de água tratada exportado (1.000 m³/ano)	Volume anual de água potável, previamente tratada em ETA (s) ou em UTS (s), transferido para outros agentes distribuidores. Deve estar computado nos volumes de água consumido (AG010).
IN009	Índice de hidrometração (%)	$(AG004 / AG002) \times 100$
IN022	Consumo médio per capita de água (L/Hab.dia)	$((AG010 - AG019) / AG001) \times 106 / 365$
IN023	Índice de atendimento urbano de água (%)	$(\text{População Urbana Atendida (AG026)} / \text{População Urbana Total}) \times 100$
IN043	Participação das economias residenciais de água no total das economias de água (%)	$(AG013 / AG003) \times 100$

Fonte: BRASIL (2018)

Equação 1

$$\text{Uso}_{\text{per capita}} = \{AG_{008} \cdot [AG_{014} \cdot (AG_{001} \div AG_{013})]\} \cdot 10^6 \div 365$$

Equação 2

$$\text{Perda}_{\text{média}} = [(AG_{006} + AG_{018} - AG_{019}) - AG_{010}] / (AG_{006} + AG_{018} - AG_{019})$$

Equação 3

$$\text{Retirada}_{\text{per capita}} = \text{USO}_{\text{per capita}} \cdot (1 - \text{Perda}_{\text{média}})^{-1}$$

Em que:

$\text{Uso}_{\text{per capita}}$ = coeficiente que define o uso médio per capita, em L/Hab.dia

$\text{Perda}_{\text{média}}$ = proporção que representa a porção captada que não é utilizada, em porcentagem

$\text{Retirada}_{\text{per capita}}$ = coeficiente de retirada média per capita, em L/Hab.dia

Equação 4

$$\text{Consumo}_{\text{per capita}} = \text{Uso}_{\text{per capita}} \cdot (1 - C) + (\text{Retirada}_{\text{per capita}} - \text{Uso}_{\text{per capita}}) \cdot (1 - C)$$

Em que:

$\text{Consumo}_{\text{per capita}}$ = consumo médio per capita, em L/hab.dia

$\text{Uso}_{\text{per capita}}$ = uso médio per capita, em L/hab.dia

$\text{Retirada}_{\text{per capita}}$ = retirada média per capita, em L/Hab.dia

C = coeficiente de retorno (adotado $C = 0,8$ para vazões associadas às populações urbanas e rurais)

Equação 5

$$\text{Retorno}_{\text{per capita}} = (\text{Retirada}_{\text{per capita}} - \text{Uso}_{\text{per capita}}) \cdot C + (\text{Uso}_{\text{per capita}} \cdot C)$$

Em que:

$\text{Retorno}_{\text{per capita}}$ = retorno per capita, em L/hab.dia

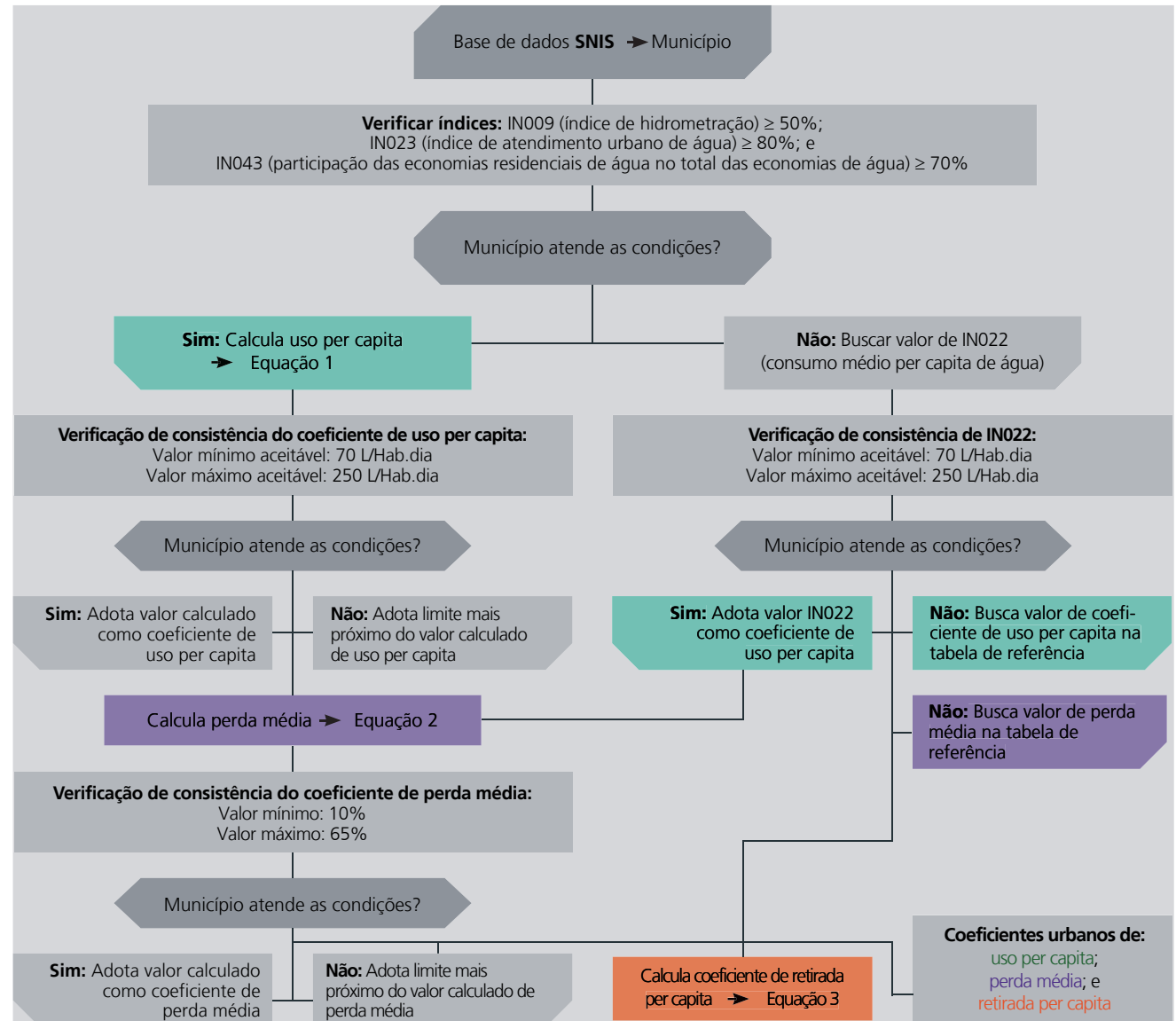


Figura 10 - Fluxograma do Método de Obtenção dos Coeficientes Médios per Capita de Uso, Perda e Retirada para Populações Urbanas

Quanto à população rural, optou-se pela estimativa com coeficientes de retirada adotados em estudos anteriores (ONS, 2003; 2005), que variam de 75 a 125 litros por habitante por dia, de acordo com a UF (Figura 9). O consumo foi também estimado em 20% da retirada (80% de retorno).

Em função da indisponibilidade de dados em escala nacional e da incerteza em modelos de regressão relacionados ao uso da água pelas populações, os valores per capita obtidos para o diagnóstico foram utilizados nos cenários passados e futuros. Embora se espere o aumento per capita do uso da água com a modernização e o aumento da renda, por exemplo, outros fatores intervêm no processo, como o próprio aumento da eficiência (diminuição de perdas), escassez hídrica, impacto de políticas públicas e mudanças de hábito de consumo.

No que tange à quantificação das populações municipais consideradas no cálculo da demanda de abastecimento humano por água, as informações para o período analisado são oriundas dos levantamentos censitários, contagens e estimativas da população divulgadas pelo IBGE, principalmente por meio do Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (<http://sidra.ibge.gov.br>).

Entre 1930 e 1991, a principal fonte de dados corresponde aos Censos Demográficos decenais. Populações municipais urbanas e rurais em anos sem dados censitários foram interpoladas a partir dos registros disponíveis.

A partir de 1992 há dados anuais: contagens da população em 1996 e 2007; Censos Demográficos em 2000 e 2010; e estimativas populacionais para os demais anos. Em parte dos dados das contagens e nas estimativas anuais o IBGE divulga apenas a população total nos municípios, sendo necessária a desagregação em população urbana e rural. Para tanto, foram aplicadas as tendências observadas no município entre anos censitários

(onde consta a divisão da população em urbana e rural).

Em relação à projeção populacional futura, estima-se que em meados de 2030 haverá redução progressiva da população total brasileira.

O IBGE disponibiliza estimativas anuais por unidade da federação no horizonte 2030 (IBGE, 2013). A estimativa populacional municipal futura (total, urbana e rural) foi estimada com base no método logístico cuja função matemática retrata bem o processo de crescimento que vai se desacelerando na medida em que se aproxima de um ponto de saturação. O método retrata adequadamente a tendência predominante dos municípios brasileiros de diminuição do crescimento demográfico. As tendências municipais observadas entre 2000 e 2010 balizaram a determinação dos parâmetros de cálculo.

A população por unidade da federação estimada pelo IBGE no horizonte 2030 foi utilizada como variável de controle para avaliação e eventual ajuste da estimativa, ou seja, a população total dos municípios deve ser próxima à população oficial estimada pelo IBGE em cada UF (admitida uma variação de até +5%).

Para aplicação do método logístico, nos 63 municípios criados após o ano 2000, foram estimadas as populações destes em 2000 e 2010 utilizando as malhas de setores censitários dos municípios de origem.

O modelo logístico foi utilizado para estimar a população total e urbana, sendo a população rural determinada pela diferença entre elas.

2.3 Resultados

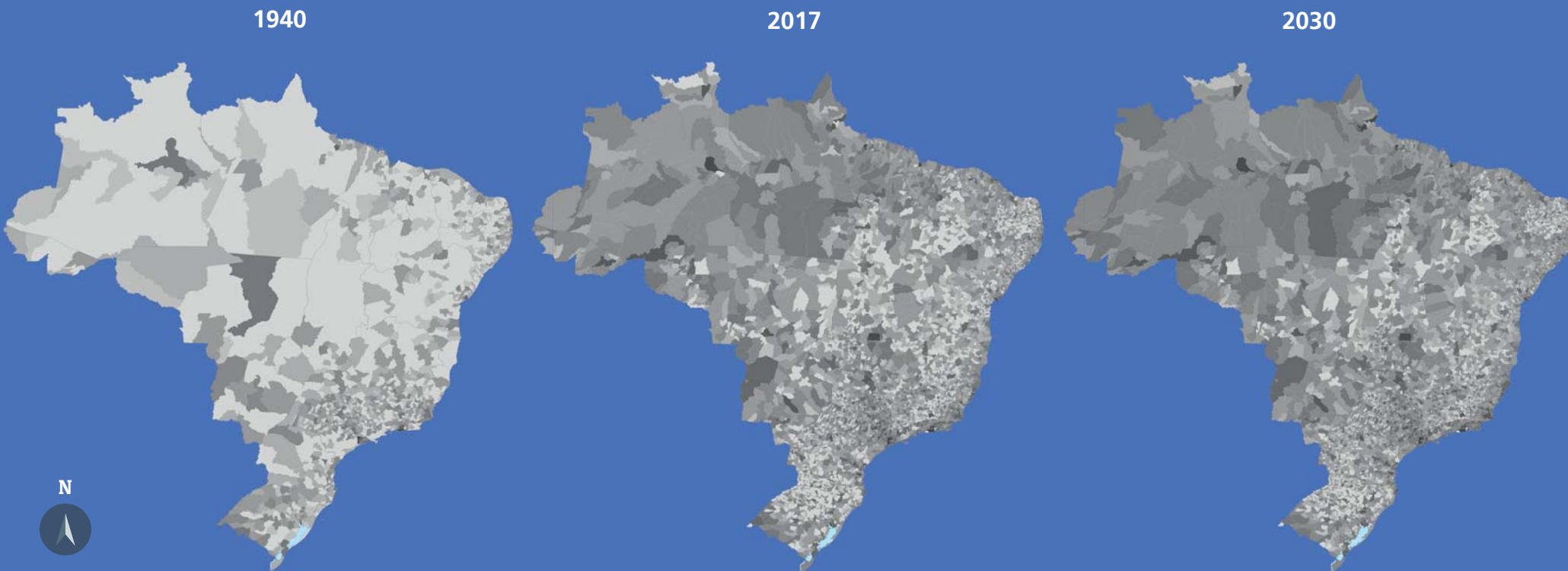
Os infográficos (Figuras 11 e 12) apresentam espacialmente e graficamente a síntese dos resultados obtidos para o abastecimento humano urbano e rural (1931-2030), respectivamente. O gráfico associado apresenta a série histórica das vazões de retirada, consumo e retorno para todo o país. Ainda, são apresentadas tabelas com os dez municípios com maiores retiradas em 2017.

Observa-se o impacto das variações populacionais sobre a demanda hídrica, notadamente com o forte crescimento da população urbana e o decréscimo da população rural a partir da década de 1970. No período recente e nas projeções futuras, nota-se a perspectiva de estabilização populacional, quando a demanda hídrica tenderá a ser mais afetada por mudanças nos sistemas de abastecimento e no padrão de consumo das famílias do que por incrementos populacionais ou fluxos migratórios.

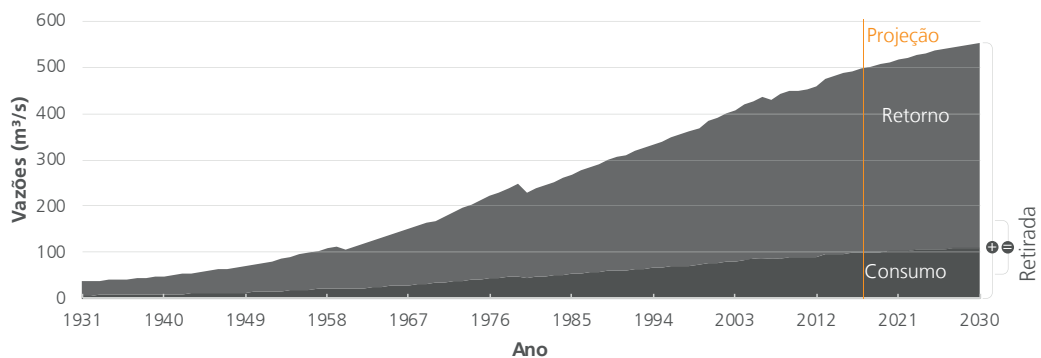
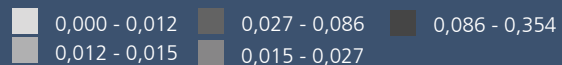
O cenário 2030 aponta uma população total de 226,4 milhões de habitantes - 18,75 milhões a mais em relação à 2017. O crescimento de 9% nesse período é puxado pelo incremento de 21 milhões de pessoas nas cidades (+11,7%), enquanto a população deverá oscilar negativamente em 2,25 milhões (-7,9%).

Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br e www.ana.gov.br/metadados.

Figura 11 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Abastecimento Humano Urbano



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



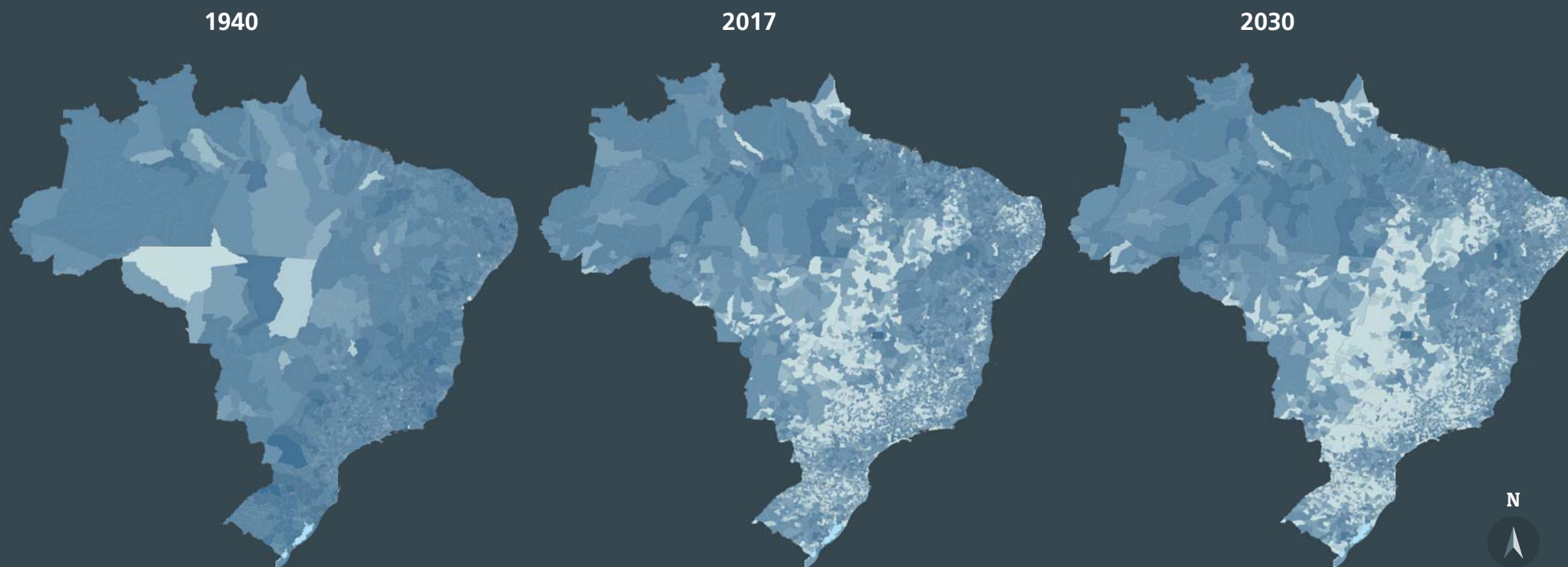
Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Humano Urbano

Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1º	SP	São Paulo	40,254
2º	RJ	Rio de Janeiro	24,049
3º	BA	Salvador	8,357
4º	DF	Brasília	8,157
5º	MG	Belo Horizonte	7,110
6º	CE	Fortaleza	6,890
7º	PE	Recife	5,955
8º	PR	Curitiba	5,369
9º	RS	Porto Alegre	5,007
10º	PA	Belém	4,915

Destacam-se nos maiores valores de vazão de retirada para abastecimento humano urbano algumas das nossas maiores capitais estaduais. O ranking não reflete exatamente o ranking populacional. Fortaleza, por exemplo, possui uma população urbana superior à de Belo Horizonte, mas o menor padrão de consumo reflete em demanda inferior à da capital mineira. A Recife e Curitiba se aplica a mesma lógica. Belém é outro exemplo: com a 12ª maior população urbana, aparece com a 10ª maior retirada de água.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usos-da-agua

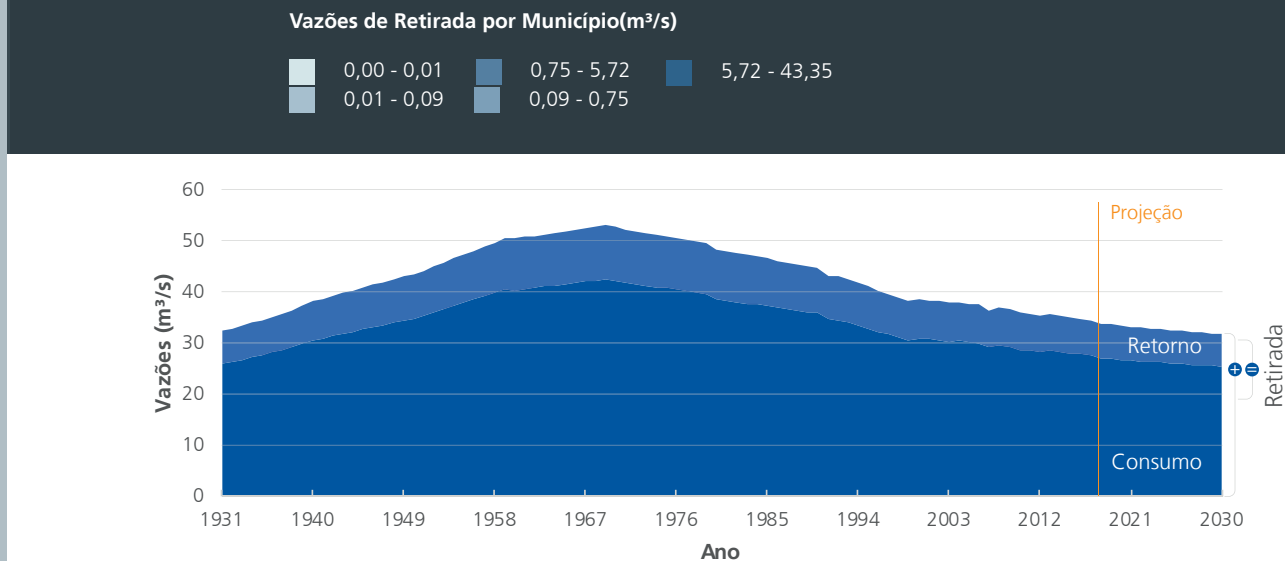
Figura 12 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Abastecimento Humano Rural



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Humano Rural			
Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1°	MA	São José de Ribamar	0,157
2°	PE	Petrolina	0,101
3°	DF	Brasília	0,100
4°	PA	Barcarena	0,089
5°	PA	Santarém	0,085
6°	PA	Cametá	0,084
7°	RJ	Cabo Frio	0,076
8°	PA	Abaetetuba	0,073
9°	SP	Ibiúna	0,070
10°	MA	São Luís	0,070

Destacam-se valores de vazão de retirada para abastecimento humano rural em municípios com parcela considerável de população rural, sobretudo do Norte e Nordeste. A tendência de queda da população rural prosseguirá no horizonte 2030, embora alguns municípios apresentem crescimento em função da instalação ou ampliação do agronegócio, o que já vem sendo observado em séries históricas mais recentes.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.



3.1 Introdução

Os maiores usos consuntivos da água, em escala global, são agropecuários. No Brasil, que possui alguns dos maiores rebanhos do mundo, a demanda de água nas estruturas de dessedentação, criação e ambiência de animais é elevada.

O consumo de água diário varia significativamente em função da espécie animal, uma vez que a maior parte está relacionada às demandas fisiológicas dos animais. O tamanho e estágio de desenvolvimento são fatores determinantes na demanda hídrica per capita, sendo ainda influenciada pelas condições ambientais e de manejo (Ward & McKague, 2007).

As metodologias aplicadas pelo mundo em trabalhos deste intuito utilizam, de maneira simplificada, informações de contagem de rebanhos e coeficientes técnicos per capita para estimativa da demanda hídrica. O nível de detalhamento dos coeficientes é função da disponibilidade de informações sobre os rebanhos, tais como espécie, tipologia, tamanho, estágio de desenvolvimento e uso de confinamento.

Além das necessidades específicas dos animais (dessedentação), discretizadas por tipo de rebanho, as demandas atuais para abastecimento animal consideram o uso da água de forma mais ampla, como para operações lácteas, limpeza de animais e de instalações e outras necessidades de manutenção de estruturas rurais.

A Figura 13 ilustra a atual variação das vazões de retirada nas unidades da federação. Destacam-se Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Rio Grande do Sul com vazões de retirada superiores, reflexo principalmente da concentração de rebanhos bovinos. A demanda atual de retirada é de 166,8 m³/s (8% do total). Como referência das variações nas regiões brasileiras, a Figura 14 apresenta os percentuais destas em relação à retirada total.

3 ABASTECIMENTO ANIMAL

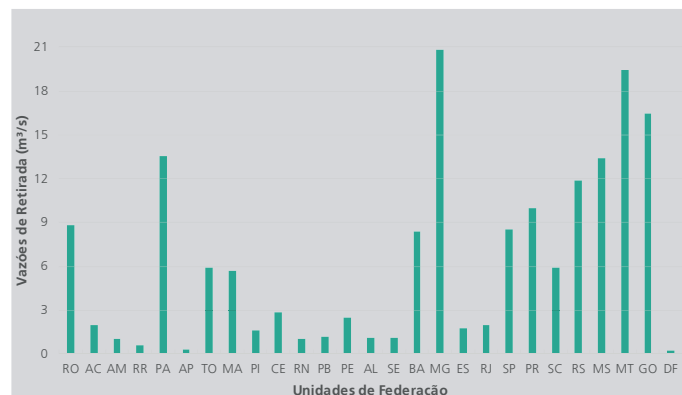


Figura 13 - Vazões de Retirada (m³/s) para Abastecimento Animal nas UFs

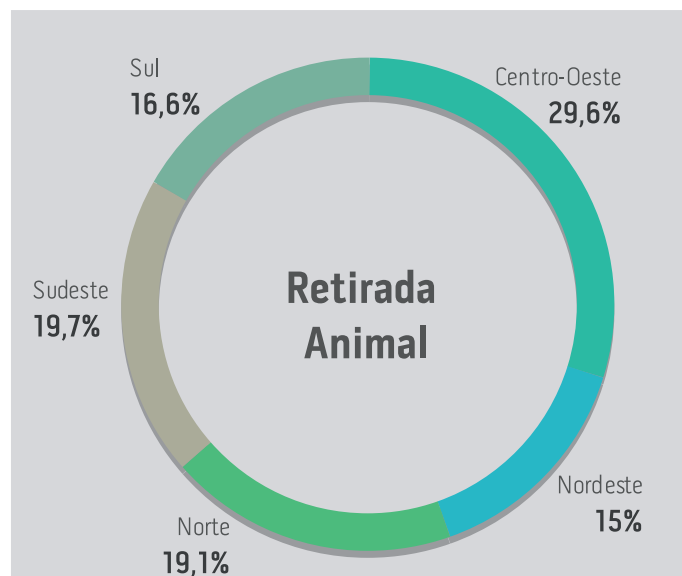


Figura 14 - Percentuais de Retirada para Abastecimento Animal em Relação à Retirada Total em Cada Região

3.2 Método e Base de Dados

O fluxograma (Figura 15) apresenta uma síntese do método e das bases de dados para estimativa das vazões associadas ao abastecimento animal.

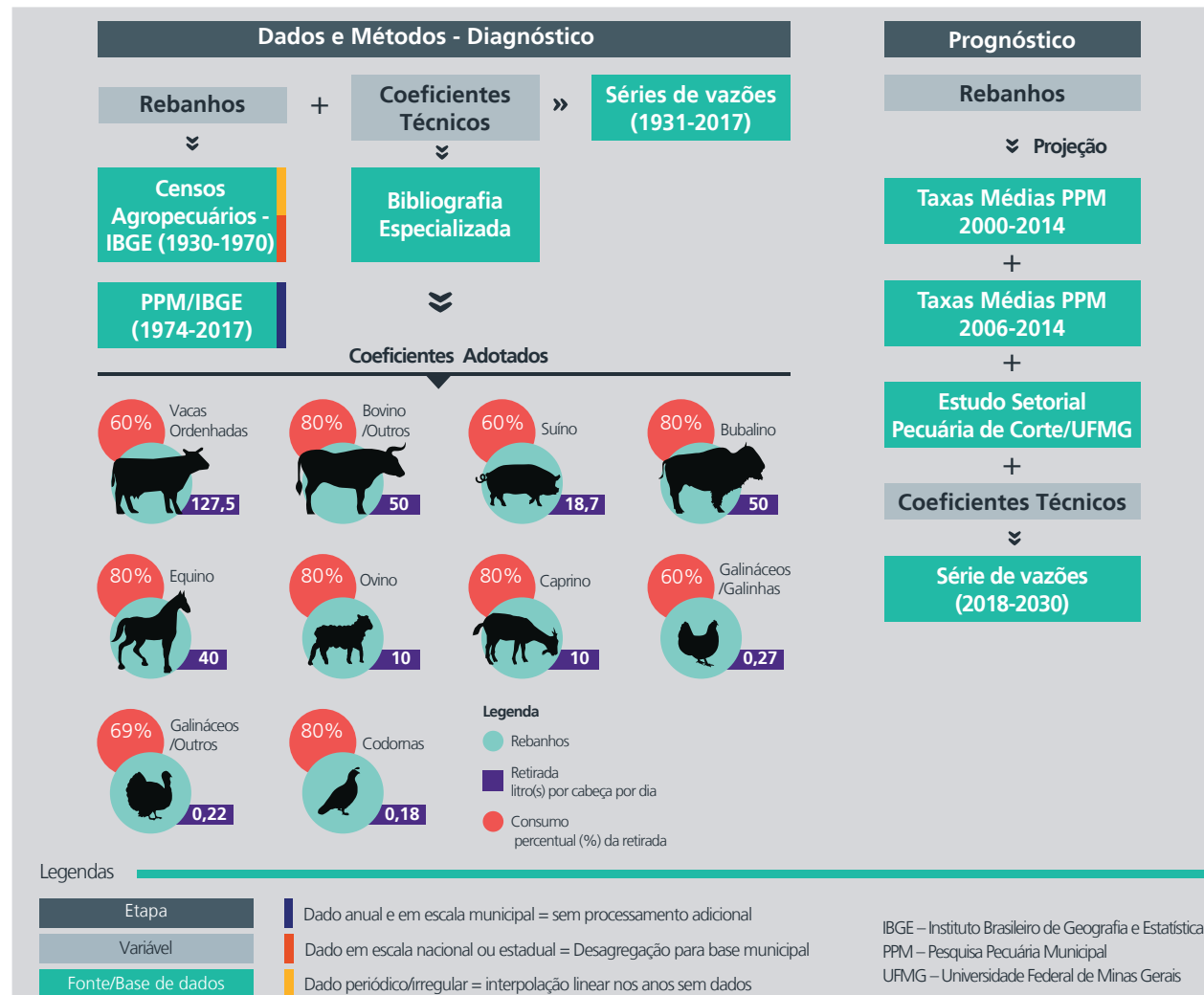


Figura 15 - Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas ao Abastecimento Animal

O método adotado é similar ao de estudos nacionais e internacionais de referência. Consiste na aplicação de **coeficientes técnicos** per capita (litros por dia por cabeça), por **tipo de rebanho**, ao **número de cabeças** registrado ou estimado no ano de referência. A conceituação dos rebanhos (IBGE, 2013; 2017) é apresentada na Tabela 2.

Dois importantes refinamentos relacionados ao método e às bases de dados diferenciam esse estudo de abordagens anteriores.

O primeiro consiste em uma nova revisão dos **coeficientes técnicos** na literatura disponível, sendo analisados 12 estudos nacionais e internacionais de referência. A Tabela 2 contém os valores mínimos e máximos observados, assim como os valores adotados. Não houve um critério específico para escolha do coeficiente, tendo a análise em cada caso considerado a profundidade, a representatividade e as fontes de dados utilizadas pelos autores, bem como a aderência dos coeficientes com os dados de rebanhos disponibilizados pelo IBGE. As Tabelas 3 e 4 apresentam um detalhamento das principais fontes de coeficientes para dessedentação relacionadas aos rebanhos bovino (vacas ordenhadas e outros) e galináceos (galinhas e outros), os quais apresentaram maior diversidade de valores.

A definição de coeficientes por tipo de rebanho resulta não só no pleno aproveitamento dos dados levantados pelo IBGE, como também permite a análise setorial da situação e do prognóstico de uso da água pelos diferentes rebanhos e sua associação com a cadeia agroindustrial (indústria de transformação).

Além de valores detalhados e mais atualizados para dessedentação animal (necessidades fisiológicas dos animais) (Tabela 2), houve a incorporação de valores para outras necessidade de criação animal (como lavagem, limpeza e manutenção de instalações e estruturas).

Tabela 2 - Rebanhos: conceituação e coeficientes técnicos (mínimo, máximo e adotado)						
Espécie	Conceituação	Coeficiente	Coeficiente	Coeficiente	Consumo (%)	Fonte(s) Adotada(s)
		Mínimo	Máximo	Adotado		
(litro(s) por cabeça por dia)						
Bovino	Total de mamíferos das espécies <i>Bos indicus</i> (boi indiano) ou <i>Bos taurus</i> (boi europeu), independentemente de sexo, idade, raça ou finalidade (corte, leite ou trabalho).	20,0	80,00	50,0	80	ANA (2013)
Vacas Ordenhadas	Vacas mestiças ou de raça (de corte, de leite ou de dupla aptidão) existentes no município e que foram ordenhadas em algum período no ano de referência da pesquisa, quer seja para autoconsumo, transformação em queijos, manteiga etc. quer seja para venda.	20,0	150,0	85,0 (127,5)	60	ANA (2013) SUDERHSA (2006)
Suíno	Total de mamíferos da espécie <i>Sus scrofa</i> (porcos e porcas), independentemente de sexo, idade ou finalidade da produção.	5,0	30,00	12,5 (18,7)	60	ONS (2003; 2005) SUDERHSA (2006)
Bubalino	Total de mamíferos da espécie <i>Buballus buballis</i> , independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).	30,0	90,00	50,0	80	ONS (2003; 2005)
Equinos	Total de mamíferos da espécie <i>Equus caballus</i> (cavalos, éguas, potros e potrancas).	20,0	60,00	40,0	80	ANA (2013) / SUDENE (1980)
Ovino	Total de mamíferos da espécie <i>Ovis aries</i> (ovelhas, carneiros e borregos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (lã, corte ou leite).	5,0	30,00	10,0	80	ONS (2003; 2005)
Caprino	Total de mamíferos da espécie <i>Capra aegagrus hircus</i> (bodes, cabras e cabritos), independentemente de sexo, idade ou finalidade (corte ou leite).	4,0	30,00	10,0	80	ONS (2003; 2005)
Galináceos	Total de aves da espécie <i>Gallus gallus</i> (galos, galinhas, frangas, frangos, pintos e pintainhas).	0,10	0,50	0,18 (0,22)	69	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)
Galináceos - galinhas	Total de aves fêmeas da espécie <i>Gallus gallus</i> destinadas à produção de ovos, independentemente do destino da produção (consumo, industrialização ou incubação). Inclui poedeiras e matrizes.	0,10	0,32	0,18 (0,27)	60	EMBRAPA (2005) SUDERHSA (2006)
Codomas	Total de aves da espécie <i>Coturnix coturnix</i> destinadas à produção de ovos e abate, independentemente de sexo ou idade.	-	-	0,18	80	EMBRAPA (2005)

*Coeficiente técnico apresentado entre parênteses considera a adoção de um percentual destinado a outras necessidade de criação animal.

Esses valores foram considerados em rebanhos onde esse uso adicional da água é mais relevante, caso do confinamento ou semiconfinamento de galináceos, suínos e vacas ordenhadas. Com base em SUDERHSA (2006),

o atual Instituto de Águas do Paraná, foram definidos sobre o valor da retirada para dessedentação adicionais de 50% para suínos, vacas ordenhadas e galinhas; e de 20% para outros galináceos.

O segundo importante refinamento no método de estimativa para abastecimento animal refere-se à ampliação das bases de dados sobre **rebanhos**, utilizando não apenas dados censitários (quinquenais ou decenais) mas também os dados anuais da Pesquisa Pecuária Municipal (anual), incluindo a desagregação do rebanho bovino em vacas ordenhadas e outros.

A Tabela 5 apresenta uma síntese das bases utilizadas e sua referência temporal e espacial. Antes de 1974, ano em que a disponibilidade de registros passa a ser anual e municipal, os rebanhos em anos sem dados foram estimados por interpolação linear. Também foi necessária a desagregação para a base municipal devido à divulgação desses valores apenas para o País ou por UF.

A desagregação dos dados na escala municipal (pré-1973) foi realizada considerando as mesmas proporções de 1974, por tipo de rebanho, levando também em conta a evolução da malha territorial ao longo dos anos (desmembramento ou agrupamento de municípios).

Ainda para o período anterior a 1974 foi criada uma série sintética de dados de vacas ordenhadas, considerando a proporção média desta espécie no total dos bovinos do país (12%), um avanço em relação ao detalhamento de estudos anteriores, cuja importância é visível na Figura 16. As vacas ordenhadas representam cerca de 12% dos bovinos mas respondem por mais de 25% da demanda.

Espécie	EMBRAPA (2005)	NIEA (2009)	DWAF (1996)	OMAFRA (2009)	UKEA (2007)	USGS (2009)	IMASUL (2010)	SUDERHSA (2006)	ANA (2013)
Gado bovino	34,3 ¹	20	17 a 41	25 a 41	20	45 ²	55	45	50 ³
Vacas Lactação	62	92	38 a 95	115	92	132 ²	62	53	85 ³

¹ Valor médio considerando Bovinos de Corte (até 250 kg, até 410 kg e até 566 kg), vacas com bezerros, vacas secas e bezerros.

² Mediana dos valores observados.

³ Média entre valor mínimo e máximo.

Espécie	ÁGUAS-PR (2010)	EMBRAPA (2005)	NIEA (2009)	FAO (2006)	USGS (2009)	ONS (2003)	IMASUL (2010)	ANA (2013)
Avinos - geral	0,16	-	0,19 - 1,22	-	-	0,36	0,32	-
Galináceos - Galinhas	-	0,18	0,20 - 0,22	0,25	0,22	0,36	0,32	0,1 - 0,2
Galináceos - Outros	-	0,16 - 0,321	0,09 - 0,21	0,33	0,22	0,36	0,32	0,15 - 0,50

¹ Considerando os seguintes coeficientes: Frangos (0,16), Poedeiras (0,25) e Reprodutores (0,32).

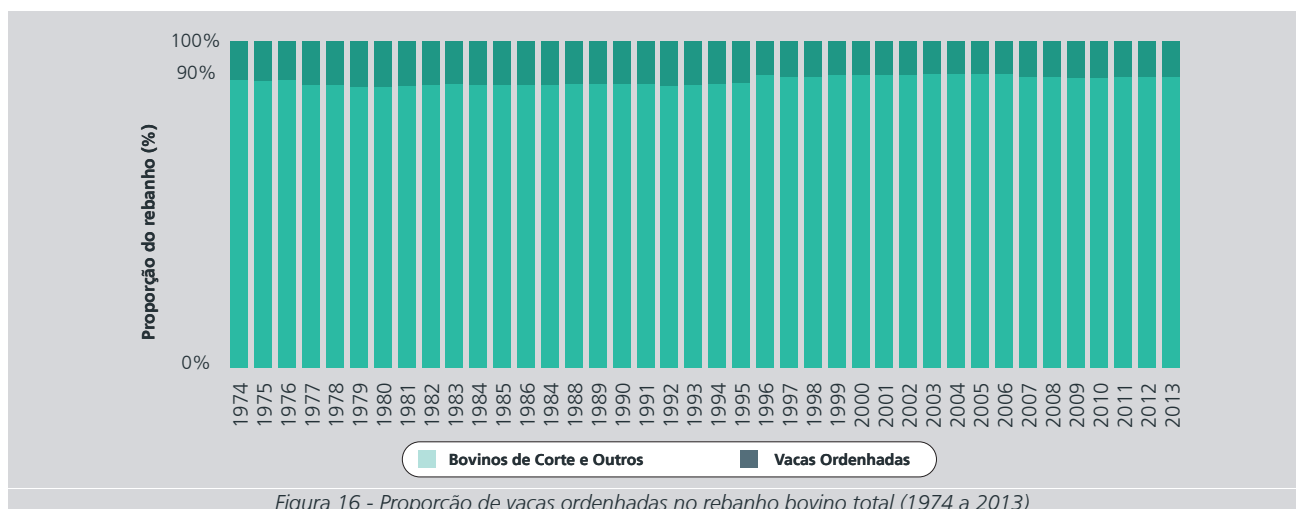


Figura 16 - Proporção de vacas ordenhadas no rebanho bovino total (1974 a 2013)

Fonte (IBGE)	Variáveis ¹	Unidade Territorial	Período Disponível	Período Utilizado
Pesquisa Pecuária Municipal	(73) Efetivo dos rebanhos, por tipo de rebanho	Município	1974-2016 (anual)	1974-2016 (anual)
Pesquisa Pecuária Municipal	(94) Vacas Ordenhadas	Município	1974-2016 (anual)	1974-2016 (anual)
Censo Agropecuário	(281) Efetivo de animais em estabelecimentos agropecuários por espécie de efetivo	UF	1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1970
Censo Agropecuário	(1035) Efetivo de animais nos estabelecimentos agropecuários por tipo de efetivo	Brasil	1920, 1930, 1940, 1950, 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1995, 2006	1930, 1940, 1950, 1960

¹ Número entre parênteses indica a referência da tabela no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA/IBGE (<http://sidra.ibge.gov.br/>).

Com relação ao consumo da dessedentação, em virtude da indisponibilidade de outras referências, propõem-se a taxa de 80% adotada em outros estudos (ANA, 2017; ONS, 2003). Por consequência, o retorno via excrementos sólidos e líquidos ou ainda via transpiração animal é de 20%.

No caso dos volumes de água adicionais destinados a outras necessidades de criação animal, a relação consumo x retorno se inverte (20% x 80%), com a adoção dos valores tipicamente considerados no abastecimento de forma geral (retorno de 80% da retirada como efluente). Assim, nos rebanhos onde esses volumes são considerados, o percentual médio de consumo (desse- dentação + outras necessidades), é de 60% para vacas ordenhadas, suínos e galinhas; e de 69% para outros galináceos.

De posse dos coeficientes técnicos adotados e das bases de dados sobre rebanhos consistidas, interpoladas e preenchidas, as vazões de retirada, consumo e retorno para abastecimento animal foram calculadas de acordo com as equações 6, 7 e 8. A vazão total para abastecimento animal no município corresponde à soma das vazões necessárias aos diferentes rebanhos.

Para projeção dos rebanhos municipais (horizonte 2030), foram inicialmente determinadas as taxas médias observadas no curto (2006-2014) e médio prazos (2000-2014) nas 137 mesorregiões brasileiras, agrupadas em quatro tipologias de rebanhos (bovinos, suínos, galináceos e outros). Na definição dos períodos e em busca de informações adicionais, foram consultados documentos setoriais e governamentais (MAPA, 2011; UFMG, 2015; FIESP, 2015).

Especificamente em relação à pecuária (grupo bovinos - outros), as projeções tendenciais foram ajustadas ao resultado do estudo *Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica*, realizado pela UFMG (2015). O estudo

Equação 6

$$Q_d = \sum (\text{Reb}_{(\text{rebanho, animais})} \cdot q_{(\text{rebanho, animais})})$$

Equação 7

$$Q_r = \sum (Q_d_{(\text{rebanho, animais})} \cdot C_r_{(\text{rebanho, animais})})$$

Equação 8

$$Q_c = Q_d - Q_r$$

Equação 9

$$\text{Reb}_{2030 (\text{espécie, animais})} = \text{Reb}_{\text{ano 1} (\text{espécie, animais})} \cdot (\text{tx}_{\text{grupo, mesorregião}})^{\text{x anos}}$$

Em que:

- Q_d = vazão de retirada animal para determinado município (litros.dia-1);
 Reb = quantitativo de animais por determinada espécie para determinado município (número de cabeças);
 q = é o coeficiente de retirada animal por dia obtido a partir da matriz de coeficientes técnicos (litros.dia-1 por espécie animal).

Em que:

- Q_r = vazão de retorno animal para determinado município (litros.dia-1);
 Q_d = vazão de retirada animal para determinado município, por rebanho (litros.dia-1);
 C_r = coeficiente de retorno para determinado rebanho animal (%).

Em que:

- Q_c = vazão de consumo pela criação animal para determinado município (litros.dia-1);
 Q_d = vazão de retirada animal para determinado município (litros.dia-1);
 Q_r = vazão de retorno animal para determinado município (litros.dia-1).

Em que:

- Reb_{2030} = quantitativo de animais para determinada espécie no município em 2030 (número de cabeças);
 $\text{Reb}_{\text{ano 1}}$ = quantitativo de animais por determinada espécie no município no ano-diagnóstico de referência (número de cabeças);
 tx = taxa média de crescimento da mesorregião por 4 grandes grupos de rebanhos (bovinos, galináceos, suínos e outros) (%).

contempla os Estados da Amazônia Legal (AM, PA, RO, TO, MT, AC, AP, MA, RR) - principais áreas de expansão recente e futura da atividade e, conseqüentemente, de uso da água para abastecimento animal.

Com abordagem ampla e profunda, o estudo da UFMG traçou três cenários futuros para ampliação dos rebanhos nas UFs. Para estimativa de demandas hídricas futuras, foi adotado o cenário de maior crescimento em

cada UF. A desagregação das informações nas mesorregiões e municípios seguiu as tendências de crescimento obtidas nos dados da PPM/IBGE.

Após a definição das taxas por mesorregião, a projeção dos rebanhos foi realizada, por município correspondente e para cada um dos quatro grupos de rebanhos, conforme apresentado na Equação 9.

3.3 Resultados

A Figura 17 apresenta a intensidade do uso da água para abastecimento animal nos municípios brasileiros, ilustrando em quais regiões predominam as retiradas por tipo de rebanho. Observa-se a importância de caprinos e ovinos no Semiárido brasileiro; de aves e suínos no Centro-Sul (muitas vezes, em regime de confinamento); e de bovinos no Rio Grande do Sul, Minas Gerais, Estados do Centro-Oeste e da fronteira agropecuária no Norte (Pará e Rondônia). No Sul e na região do Triângulo Mineiro observa-se maior coexistência de diferentes classes de rebanhos.

A Figura 17 também ilustra a proporção atual dos rebanhos no total do abastecimento animal no país, onde se observa a preponderância do rebanho bovino na composição da demanda (88%), seguido pelos suínos (5%) e aves (2%).

O infográfico (Figura 18) apresenta espacialmente e graficamente a síntese dos resultados obtidos para o abastecimento animal (1931-2030). Entre 2017 e 2030, nota-se a perspectiva de expansão dos rebanhos e, consequentemente, do uso da água em direção à Amazônia Legal, enquanto o uso tende a diminuir em diversos municípios do Centro-Sul.

O gráfico (Figura 18) apresenta a série histórica das vazões de retirada, consumo e retorno para todo o país. Ainda, é apresentada uma tabela com os dez municípios com retiradas mais relevantes em 2017.

Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br e www.ana.gov.br/metadados.

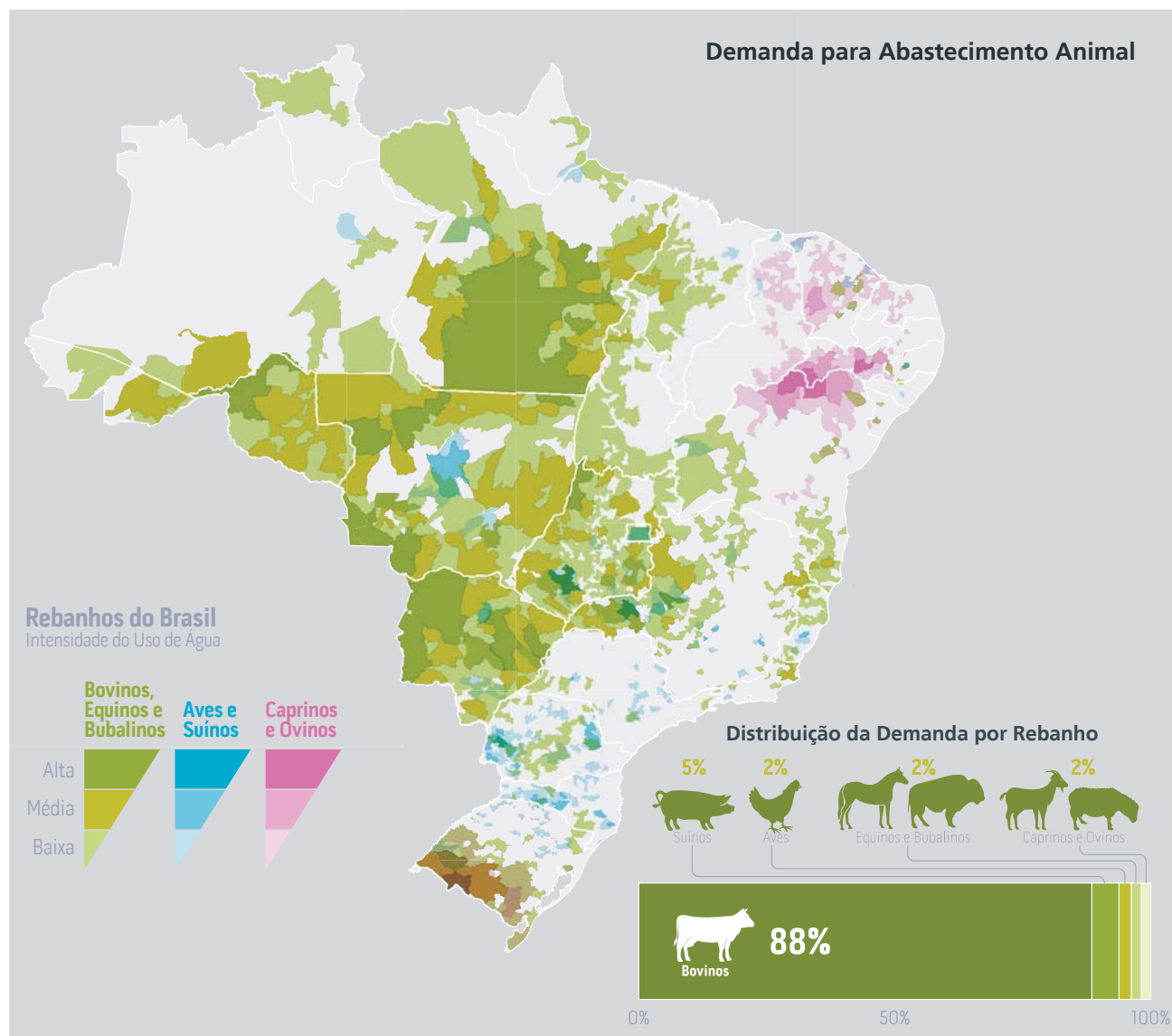


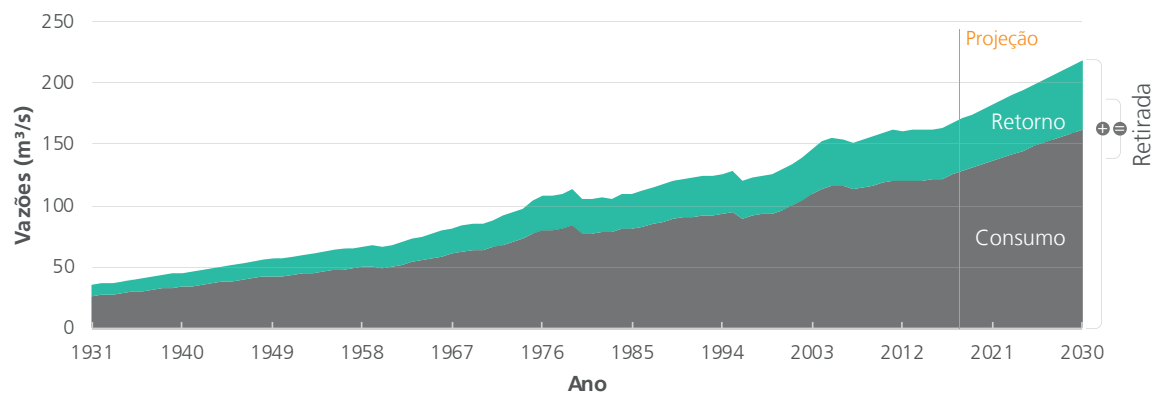
Figura 17 - Intensidade do uso da água por grupo de rebanho nos municípios; e proporção do uso por rebanho no Brasil.

Fonte: adaptado de Conjuntura 2017 (ANA, 2017).

Figura 18 - Síntese das Séries de Vazões 1931 a 2030 - Abastecimento Animal



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Animal

Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1°	PA	São Félix do Xingu	1,336
2°	MS	Corumbá	1,080
3°	MT	Cáceres	0,679
4°	PA	Marabá	0,674
5°	MS	Ribas do Rio Pardo	0,666
6°	MT	Vila Bela da Santíssima Trindade	0,619
7°	PA	Novo Repartimento	0,608
8°	MT	Juara	0,592
9°	RO	Porto Velho	0,575
10°	PA	Cumaru do Norte	0,487

Embora Corumbá/MS e São Félix do Xingu/PA destaquem-se com altas demandas, reflexo da elevada concentração de rebanhos bovinos, o uso da água para abastecimento animal é disperso pelo território nacional. É notável, entretanto, a concentração em Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Rondônia e Pará, assim como no tradicional polo de produção do Rio Grande do Sul.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usos-da-agua.

4 INDÚSTRIA DE TRANSFORMAÇÃO

Indústria de papel em Mogi Guaçu (SP)
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

4.1 Introdução

O Brasil é um dos países mais industrializados do mundo, sendo o setor responsável, em 2015, pela geração de R\$ 1,3 trilhões em divisas (22,7% do PIB), 40% das exportações e 10 milhões de empregos em 512.436 estabelecimentos (CNI, 2017). A intensificação e maturidade do setor faz com que o Brasil possua um enorme e variado parque industrial que produz desde bens de consumo (como alimentos e roupas) a tecnologia de ponta.

A água tem uma grande diversidade de aplicações no setor industrial, dependendo do tipo de produto ou serviço e processos associados. Pode ser aplicada como matéria-prima; reagente e solvente de substâncias sólidas, líquidas e gasosas; na lavagem e retenção de materiais contidos em misturas; como veículo de suspensão; e em operações envolvendo resfriamento e transmissão de calor.

Historicamente, grande esforço tem sido empreendido nas estimativas de uso da água para o setor industrial. Com a escassez de inventários de medição, as estimativas indiretas surgem como alternativa necessária. Nesse estudo, a disponibilidade de microdados sobre trabalhadores na indústria motivou a construção de uma matriz de coeficientes técnicos que expressa as relações de uso da água nas diferentes tipologias analisadas.

Ciente do desafio de caracterização da demanda no setor, a ANA tem aprofundado as análises relacionadas à indústria de transformação. O recente documento *Água na Indústria: uso e coeficientes técnicos* (ANA, 2017), disponível em <http://goo.gl/LtuwxL>, detalha a metodologia empregada e os resultados alcançados, que são os mesmos empregados no presente estudo. Esse capítulo apresenta um panorama geral e uma síntese dos principais aspectos considerados na análise retrospectiva, atual e futura.

Como grandes números do uso da água para atendimento à atividade industrial, a Figura 19 ilustra a variação das vazões de retirada nas unidades federativas em 2017. Destaca-se o estado de São Paulo, com vazões de retirada de 57,9 m³/s, o que corresponde a cerca de 30% do total no País (189,2 m³/s).

Como referência das variações das retiradas nas regiões brasileiras, a Figura 20 apresenta a participação destas no total nacional.

4.2 Método e Base de Dados

O fluxograma (Figura 21) apresenta uma síntese do método e das bases de dados para estimativa do uso da água na indústria de transformação.

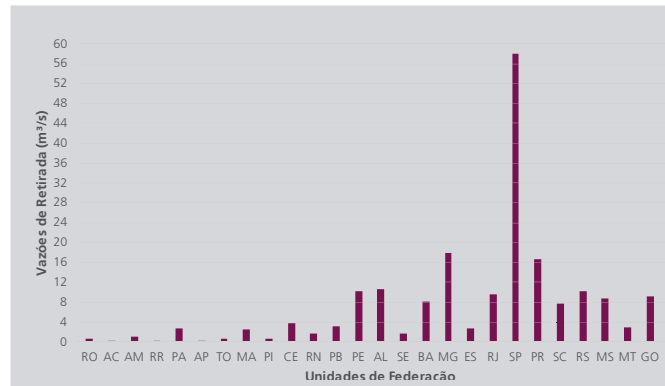


Figura 19 - Vazões de Retirada (m³/s) para o Setor Industrial nas UF's

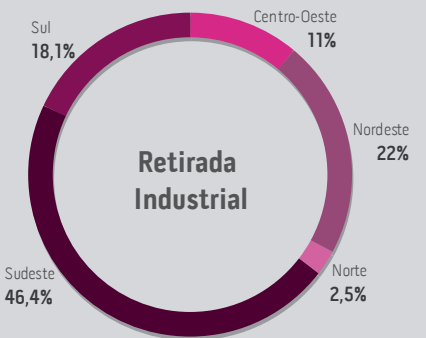


Figura 20 - Percentuais de Retirada para o Setor Industrial em Relação à Retirada Total em Cada Região

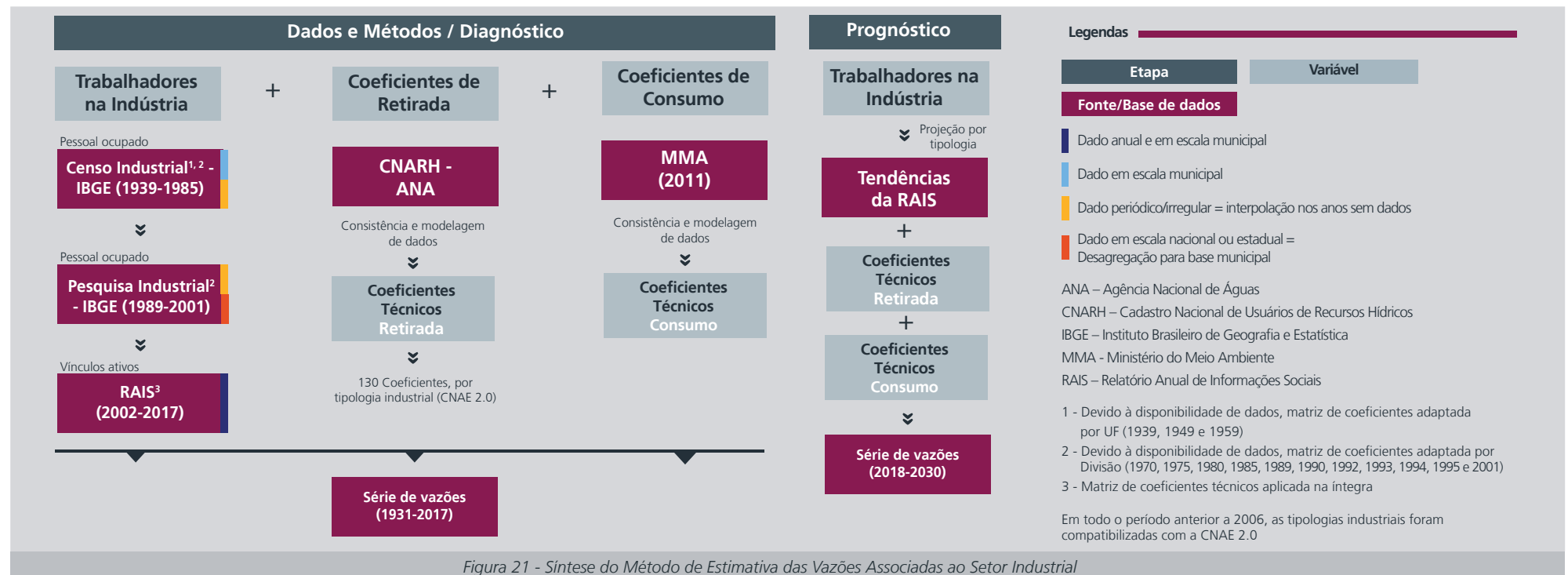


Figura 21 - Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas ao Setor Industrial

O método de estimativa do uso da água na indústria de transformação consiste na aplicação de **coeficientes técnicos** (vazões médias, por empregado, por tipologia industrial) ao **número de trabalhadores** de determinada tipologia em determinado município. Os maiores desafios do método dizem respeito à consistência e compatibilização das bases de dados sobre números de trabalhadores e na obtenção e validação de coeficientes técnicos de retirada e de consumo.

O método proposto baseou-se na disponibilidade de dados de número de empregados, por tipologia industrial, ao longo das décadas. Ao número de empregados é associada uma matriz de coeficientes técnicos que indica a quantidade média de água que os processos atrelados a uma tipologia industrial demandam. A demanda total no município corresponde à soma das diferentes tipologias (Equações 10, 11 e 12). Esse tipo de abordagem tem sido adotado em diversas aplicações no Brasil e no mundo, conforme analisado em ANA (2017).

Para construção da matriz de **coeficientes técnicos** de retirada, foram analisados e consistidos dados do Cadastro Nacional de Usuários de Recursos Hídricos – CNARH/ANA, que engloba usuários que utilizam recursos hídricos de domínio da União e dos Estados. As análises e a modelagem realizadas são detalhadas em ANA (2017).

Na consideração das tipologias, foi adotada a Classificação Nacional de Atividades Econômicas – CNAE 2.0, que para a indústria de transformação apresenta 24 divisões (códigos 10 a 33), 103 grupos e 258 classes. Buscou-se coeficientes no nível hierárquico mais detalhado, considerando o número de registros disponíveis, sua variabilidade e representatividade. Quando este detalhamento não foi possível, considerou-se o coeficiente do respectivo grupo e, em último caso, da divisão.

Nesse estudo, foram obtidos 101 coeficientes técnicos na hierarquia classe da CNAE 2.0, ou seja, para 40% das classes, e que representam cerca de 85% da demanda hídrica. Nas demais classes (15% da demanda)

foram obtidos coeficientes únicos para o respectivo grupo ou divisão.

Considerando o valor médio de retirada obtido, agrupado por Divisão CNAE 2.0, observa-se boa aderência, em termos de ordens de grandeza, com estudos nacionais e internacionais consultados (Figura 22). A matriz completa está disponível em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.

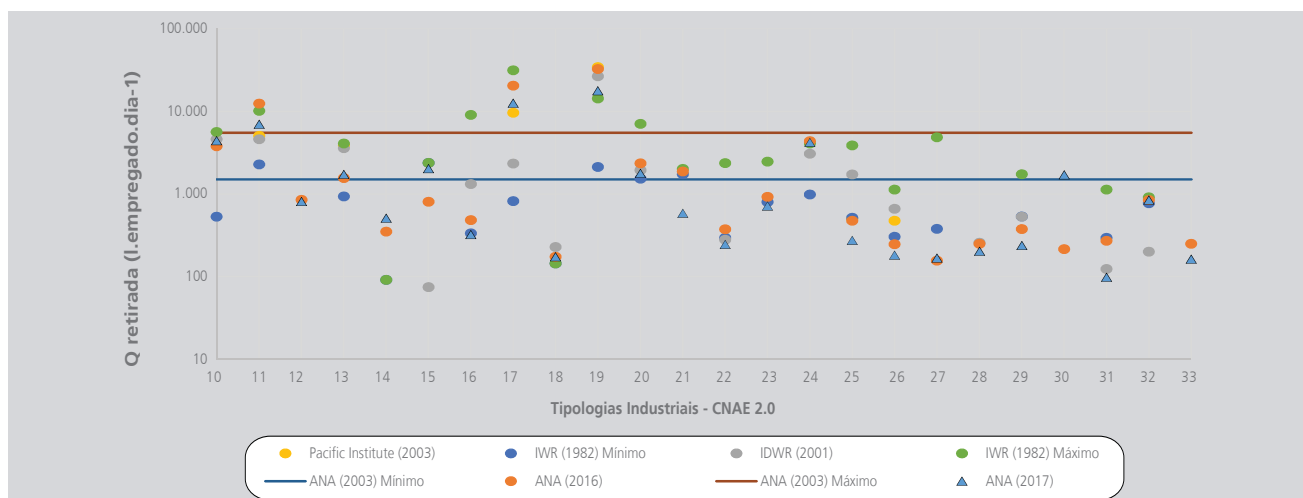


Figura 22 - Comparativo dos coeficientes técnicos de retirada para o setor industrial por divisão da CNAE 2.0

Equação 10

$$Q_{\text{Ret}} = \sum (E_{(\text{tipologia, trabalhadores})} \cdot k_r_{(\text{tipologia, trabalhadores})})$$

Em que:

- Q_{ret} = vazão de retirada da indústria de transformação no município
 E = Número de empregados por tipologia industrial para um determinado município;
 k_r = Coeficiente de retirada por tipologia industrial (litros. n° de empregados.dia⁻¹).

A vazão de consumo foi estimada pela Equação 11:

Equação 11

$$Q_{\text{Cons}} = \sum (Q_{\text{Ret (tipologia)}} \cdot k_c_{(\text{tipologia, trabalhadores})})$$

Em que:

- Q_{Cons} = vazão consumo total na área urbana (m³/s);
 Q_{ret} = vazão de retirada da indústria de transformação para determinada tipologia no município
 k_c = coeficiente de consumo (%).

A vazão de retorno em base municipal foi definida pela diferença entre retirada e consumo, conforme Equação 12:

Equação 12

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{Ret}} - Q_{\text{Cons}}$$

Tabela 6 - Matriz Agregada de Coeficientes Técnicos para Estimativa das Demandas Hídricas do Setor Industrial Brasileiro

CNAE 2.0	Tipologia industrial	Coeficientes Técnicos*	
		Retirada (l/empregado/dia)	Consumo (%)
10	Fabricação de produtos alimentícios	4.600	75,9%
11	Fabricação de bebidas	8.713	24,4%
12	Fabricação de produtos do fumo	811	20,0%
13	Fabricação de produtos têxteis	1.873	22,5%
14	Confeção de artigos do vestuário e acessórios	510	18,5%
15	Preparação de couros e fabricação de artefatos de couro, artigos para viagem e calçados	2.027	15,9%
16	Fabricação de produtos de madeira	344	24,3%
17	Fabricação de celulose, papel e produtos de papel	8.865	16,6%
18	Impressão e reprodução de gravações	173	18,8%
19	Fabricação de coque, de produtos derivados do petróleo e de biocombustíveis	18.147	85,0%
20	Fabricação de produtos químicos	1.715	34,4%
21	Fabricação de produtos farmoquímicos e farmacêuticos	529	20,0%
22	Fabricação de produtos de borracha e de material plástico	248	20,8%
23	Fabricação de produtos de minerais não-metálicos	676	46,5%
24	Metalurgia	3.781	24,3%
25	Fabricação de produtos de metal, exceto máquinas e equipamentos	281	46,8%
26	Fabricação de equipamentos de informática, produtos eletrônicos e ópticos	182	20,0%
27	Fabricação de máquinas, aparelhos e materiais elétricos	167	20,0%
28	Fabricação de máquinas e equipamentos	203	18,9%
29	Fabricação de veículos automotores, reboques e carrocerias	235	29,4%
30	Fabricação de outros equipamentos de transporte, exceto veículos automotores	1.270	19,8%
31	Fabricação de móveis	98	20,0%
32	Fabricação de produtos diversos	842	20,0%
33	Manutenção, reparação e instalação de máquinas e equipamentos	162	20,0%

*Os coeficientes médios por Divisão da CNAE 2.0 foram estimados a partir do somatório da vazão e do número de empregados das respectivas classes. Esse valor pode apresentar flutuações interanuais em função da diferente proporção das classes no total da Divisão.

A matriz completa está disponível em www.snirh.gov.br/usos-da-agua.

A Tabela 6 apresenta os coeficientes médios agrupados por Divisão da CNAE 2.0. Cabe ressaltar que a metodologia empregada utiliza cerca de 130 coeficientes, sendo os resultados nas 24 Divisões da indústria de transformação um agrupamento das respectivas classes e grupos.

Os **coeficientes técnicos de consumo** para as tipologias industriais baseiam-se em estudo do MMA (Brasil, 2011). Apesar da matriz utilizar o volume da produção, e não o número de empregados, como variável explicativa para a demanda hídrica, foram adotados os fatores de proporcionalidade entre os coeficientes de retirada e consumo (%), uma vez que tais valores foram propostos e validados com a participação do setor industrial. Para as divisões 27, 31, 32 e 33 foi adotado consumo de 20%, com base em ANA (2013), devido à indisponibilidade de dados. Os coeficientes médios de consumo por Divisão são também apresentados na Tabela 6.

Observa-se que maiores coeficientes de retirada e de consumo indicam maior intensidade do uso com relação ao número de empregados, mas não representam, necessariamente, setores mais hidrossensíveis. Ou seja, há atividades onde o coeficiente é elevado simplesmente pela baixa necessidade de mão-de-obra, com baixo impacto na demanda total.

Quanto às bases de dados sobre **número de trabalhadores**, destaca-se que a partir de 2002 estão disponíveis as informações de caráter censitário do Relatório Anual de Informações Sociais (RAIS), as quais apresentam aderência direta com a matriz de coeficientes elaborada. Os microdados da RAIS são disponibilizados pelo Ministério do Trabalho em <http://pdet.mte.gov.br/microdados-rais-e-caged/>.

Para as bases dos Censos Industriais e das Pesquisas Industriais Anuais - PIAs (pré-2002), as bases de dados tiveram que ser, conforme o caso, convertidas, preenchidas e desagregadas. Em anos censitários, foi realizada a digitação manual de cerca de 80 mil registros a partir de cadernos publicados pelo IBGE. No caso das PIAs (IBGE, 2016a), os

dados são disponibilizados no Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA (<http://sidra.ibge.gov.br>).

Os coeficientes técnicos no período anterior a RAIS foram agrupados na hierarquia e escala as quais os dados estavam disponíveis.

Nos Censos Industriais de 1939, 1949 e 1959 foram levantados apenas o número total de trabalhadores na indústria de transformação, por município, sem distinção de tipologia. Optou-se por produzir uma matriz de coeficientes por UF, ponderando o peso das diferentes tipologias industriais presentes na UF em 1970 (primeiro ano com dados por tipologia), uma vez que coeficientes genéricos para o país causariam maiores distorções nas estimativas.

Nos Censos posteriores (1970-1985) e nas Pesquisas Industriais Anuais - PIA (1989-2001) os dados já apresentavam tipologias industriais, mas de forma agregada (Divisão), sem o nível de detalhamento atual. Nesses casos, foram adotados coeficientes específicos, por Divisão da indústria, adaptados à hierarquia dos dados.

Adicionalmente, em virtude da distinta conceituação entre os levantamentos dos Censos e das PIAs, que consideram pessoal ocupado ligado à produção, e da RAIS, que considera uma conceituação mais abrangente (vínculos ativos), foi necessária a compatibilização da matriz por Divisão para aplicação no período anterior a 2002. Para tanto, foi aplicado um fator de correção entre pessoal ocupado total e pessoal ocupado ligado à produção, por tipologia industrial, observado nas PIAs realizadas entre 1966 e 1995.

Ainda nos anos em que foi adotada a PIA (1989-2001) foi necessária a desagregação municipal dos dados disponibilizados apenas por UF ou nacionalmente, utilizando para tanto as proporções observadas em 2002 na RAIS.

Ainda, no período pré-2002, os levantamentos apresentam temporalidade irregular, sendo necessária a interpolação linear do número de trabalhadores em anos sem informação.

Por fim, os sistemas de classificação das indústrias variaram ao longo das décadas em que essas diferentes bases de dados foram geradas, sendo necessária a conversão de todas para a classificação CNAE 2.0. Mesmo na base mais recente (RAIS), a conversão foi necessária entre 2002 e 2005, quando era utilizada a CNAE 1.0.

As projeções do uso industrial basearam-se no mesmo método para a situação atual, sendo projetados os vínculos ativos e aplicados os mesmos coeficientes do diagnóstico.

No curto prazo, correspondente aos primeiros dois anos da projeção, foram aplicados os índices conjunturais, nacionalmente, por Divisão, da Pesquisa Industrial Mensal de Emprego e Salário (PIMES), que refletem a situação recente de queda na atividade industrial, não captada por outros indicadores.

Nos demais anos, foi utilizada a taxa média de crescimento observada no curto prazo (2008-2013) e no médio prazo (2002-2013). As taxas foram calculadas para as 137 mesorregiões brasileiras utilizando um agrupamento das tipologias industriais em predominantemente rural (Divisões 10, 16 e 17) e predominantemente urbana (demais Divisões), e aplicadas aos municípios correspondentes.

4.3 Resultados

A Figura 23 apresenta a intensidade do uso da água dos principais Grupos da indústria de transformação. As indústrias de alimentos; bebidas; celulose, papel e produtos de papel; petróleo e biocombustíveis; produtos

químicos; e metalurgia correspondem, somadas, a cerca de 85% da demanda de retirada e 90% do consumo no Brasil (Figura 24).

A maior concentração de indústrias de transformação no Brasil está na região Sudeste, principalmente nos estados de São Paulo, Rio de Janeiro e Minas Gerais. No Sudeste há parques industriais diversificados, com destaque para as indústrias química, siderúrgica e automobilística. Já na região Sul, segunda região mais desenvolvida industrialmente no Brasil, destacam-se agroindústrias que focam no beneficiamento e transformação de produtos primários. O perfil da atividade industrial na região Nordeste é vinculado, principalmente, à produção têxtil e ao setor sucroalcooleiro. O Norte e o Centro-Oeste são regiões de menor concentração industrial, mas com predomínio de agroindústrias que são importantes consumidoras de água, podendo afetar o balanço hídrico local.

O infográfico (Figura 25) apresenta espacialmente e graficamente a síntese dos resultados obtidos para o setor industrial no período analisado (1931-2030), totalizando 189,2 m³/s em 2017. O gráfico apresenta a série histórica das vazões de retirada, consumo e retorno em m³/s para todo o País. Ainda, é apresentada uma tabela com o *ranking* dos dez municípios com maiores vazões de retirada.

Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br e www.ana.gov.br/metadados.

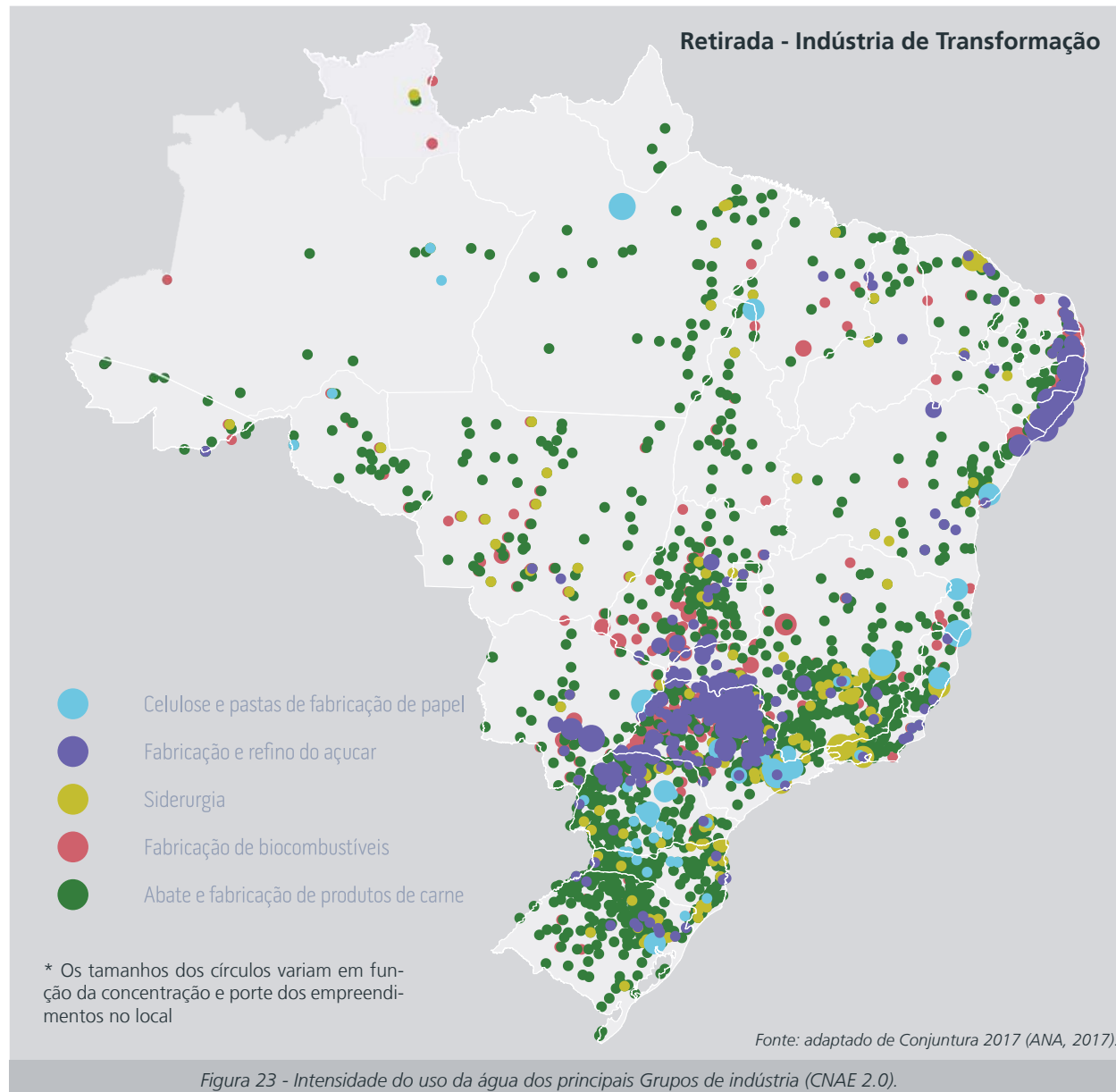


Figura 23 - Intensidade do uso da água dos principais Grupos de indústria (CNAE 2.0).

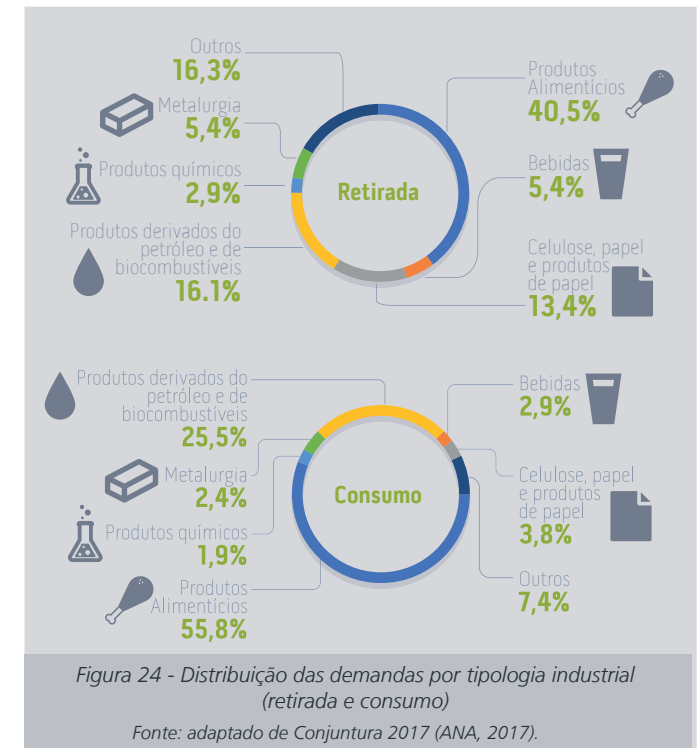
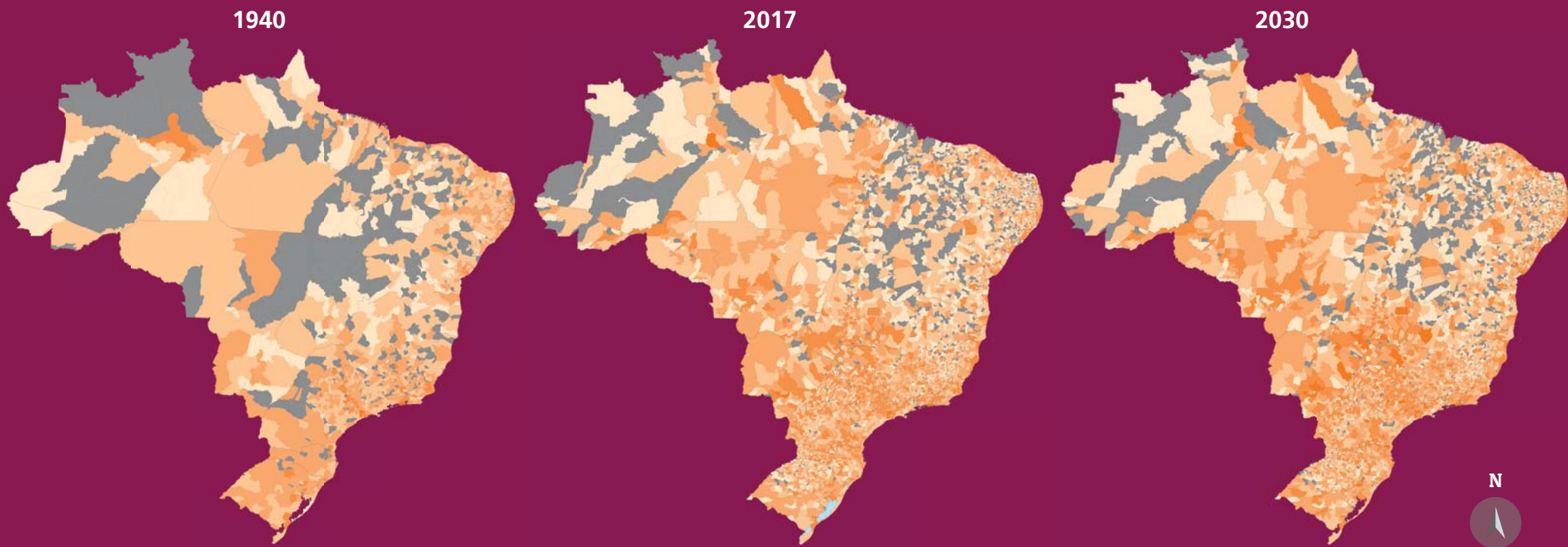
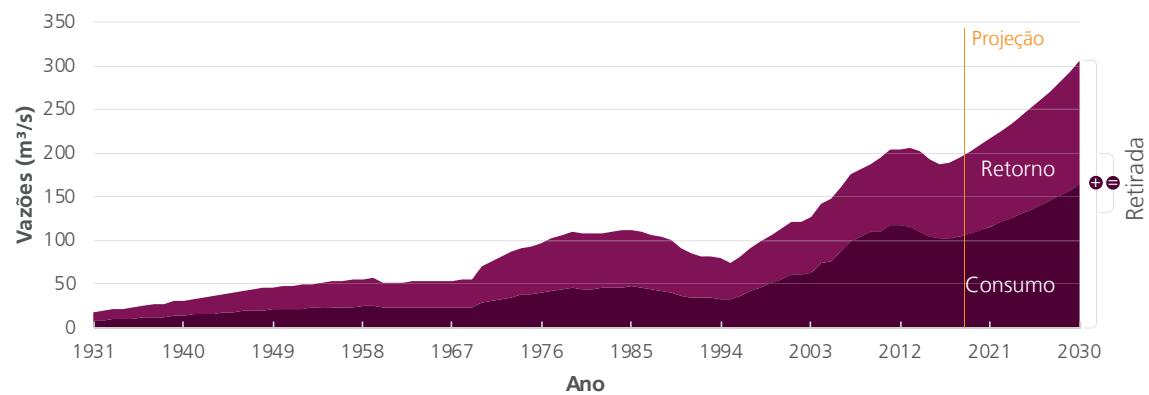
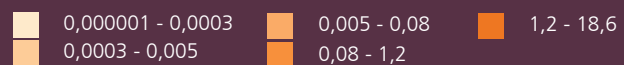


Figura 25 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Indústria de Transformação



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Indústria de Transformação

Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1°	SP	São Paulo	4,965
2°	RJ	Rio de Janeiro	4,806
3°	MS	Três Lagoas	3,244
4°	BA	Mucuri	1,921
5°	AL	Rio Largo	1,569
6°	PR	Telêmaco Borba	1,564
7°	AL	Coruripe	1,410
8°	RJ	Volta Redonda	1,351
9°	BA	Camaçari	1,345
10°	SP	Sertãozinho	1,328

Destacam-se nos valores de vazão de retirada para o uso industrial a liderança dos municípios do Rio de Janeiro (RJ) e de São Paulo (SP). Outras capitais e municípios vizinhos em regiões metropolitanas também aparecem com elevadas demandas hídricas, com as maiores vazões retiradas em municípios com polos agroindustriais de indústrias hidroativas (papel e celulose, siderurgia, açúcar e etanol etc.).

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.

5.1 Introdução

A mineração (ou indústria extrativa mineral) abrange os processos de extração de substâncias minerais. O Brasil está dentre os maiores produtores mundiais de diversas substâncias, tais como minério de ferro (3º no *ranking*), bauxita e alumina (3º), nióbio (1º) e fosfato (5º).

A mineração demanda volumes expressivos de água, representando nacionalmente 1,6% da retirada. O volume de retirada é equivalente ao para abastecimento de toda a população rural brasileira, sendo que a mineração se caracteriza pela forte concentração no território, notadamente em alguns municípios em Minas Gerais e no Pará.

Estudos anteriores (notadamente em ONS, 2003; 2005) utilizaram coeficientes relacionados ao valor da produção extrativa mineral, com parâmetros únicos de 0,132 m³ (retirada) e 0,106 m³ (retorno) de água a cada US\$1 produzido.

O método atual utiliza dados de produção mineral efetiva, por tipo ou grupo de substância, associados a coeficientes técnicos específicos (volume de água necessário para produção de uma tonelada, de acordo com a tipologia). Essa abordagem confere elevada precisão às estimativas e permite análises mais detalhadas sobre o uso da água pela indústria extrativa.

Como grandes números do uso da água para atendimento à mineração, a Figura 26 ilustra a variação das vazões de retirada nas unidades federativas. Além da destacada liderança de Minas Gerais (53%) e do Pará (28% do total), nota-se maior demanda nos estados do Sul e em São Paulo, Mato Grosso do Sul, Goiás e Bahia.

A Figura 27 apresenta os respectivos percentuais relativos de retirada por Região.

5 MINERAÇÃO

Mineração em Serrana (SP)
Raylton Alves - Banco de Imagens/ANA

5.2 Método e Base de Dados

O fluxograma (Figura 28) apresenta uma síntese do método de estimativa das vazões associadas à mineração.

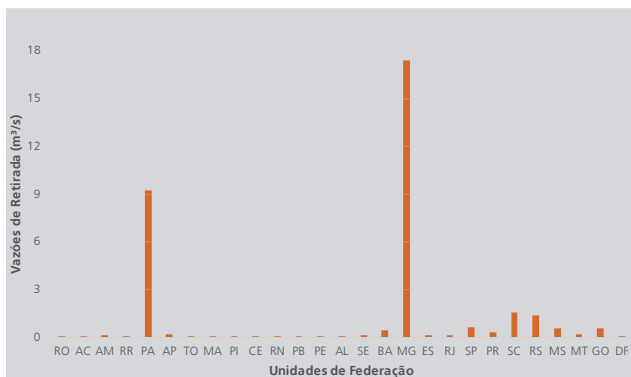


Figura 26 - Vazões de Retirada (m³/s) para o Setor Mineração nas UFs



Figura 27 - Percentuais de Retirada de Água (Mineração), por Região, em Relação à Retirada Total

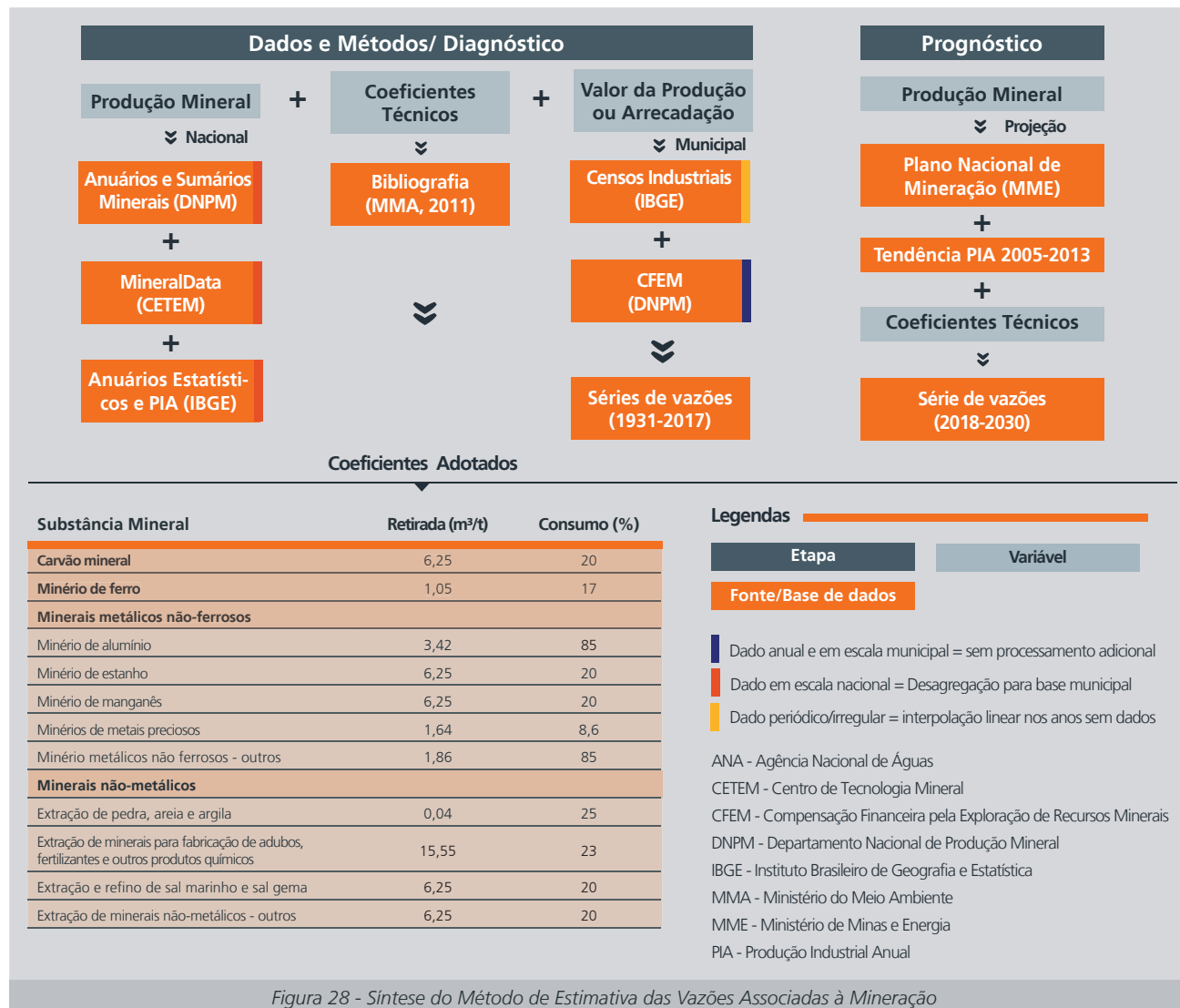


Figura 28 - Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas à Mineração

O método de cálculo associa a **produção mineral** (toneladas/ano), por tipo ou grupo de substância, com **coeficientes técnicos** (volume de água médio necessário para a produção de cada tonelada). Dada a importância e representatividade, foram definidos quatro agrupamentos de minérios: carvão mineral, minério de ferro, minerais metálicos não-ferrosos e minerais não-metálicos. A maior parte da demanda atual de metálicos não-ferrosos concentra-se na produção de alumínio e seus concentrados (bauxita); e da de minerais não-metálicos na extração de minerais para fabricação de adubos, fertilizantes e outros produtos químicos.

As séries históricas de volume da **produção mineral** estão disponíveis apenas no agregado nacional. No período anterior a 2005, foram utilizados dados provenientes do MineralData (<http://mineraldata.cetem.gov.br/>), mantido pelo Centro de Tecnologia Mineral (CETEM). As principais fontes do MineralData são o Anuário Mineral Brasileiro e o Sumário Mineral Brasileiro, que publicam dados desde 1972 e 1981, respectivamente. Dados anteriores aos anos 1980 foram obtidos de publicações do IBGE¹ (desde 1940) ou, no caso do minério de ferro, do Balanço Mineral Brasileiro (DNPM; desde 1930). A partir de 2005, são utilizados preferencialmente os dados de produção da Pesquisa Industrial Anual - PIA (IBGE, 2016b).

Para a desagregação da produção da escala nacional para a municipal, foram utilizadas séries auxiliares de dados da atividade mineral: séries de valor da produção mineral dos Censos Industriais (decenais ou quinquenais), de 1940 a 1985; e, a partir de 2004, séries municipais de arrecadação da CFEM - Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais (DNPM).

¹ Dados para os anos de 1940, 1950, 1970, 1975, 1985 obtidos das seguintes publicações:

Anuário estatístico do Brasil 1960; Brasil: séries estatísticas retrospectivas 1977; e Anuário estatístico do Brasil 1989.

A desagregação das demandas em base municipal também considerou a análise de dados georreferenciados de lavras, disponibilizados pelo DNPM. Essa análise identificou que a produção de minério de ferro distribuiu-se em municípios dos estados do Amazonas, Amapá, Bahia, Ceará, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará, Pernambuco, Piauí, Rio Grande do Norte, Sergipe e São Paulo. A produção de carvão mineral concentra-se nos estados do Paraná, Santa Catarina e Rio Grande do Sul. Nessas duas categorias, que concentram a maior parte da demanda, a desagregação da produção nacional nos municípios foi feita apenas nos respectivos Estados produtores identificados.

Dada a concentração da atividade mineral de grande porte em poucos municípios, a utilização de dados secundários para desagregação da produção mineral, com os critérios adotados, resulta em importante refinamento de alocação territorial das demandas. O cálculo global utilizando unidades efetivamente produzidas representa outro ganho importante no refinamento das estimativas setoriais.

Ressalta-se que em anos sem dados, com dados omitidos ou com falhas, os valores de produção mineral ou de valor da produção foram preenchidos com outra fonte disponível ou interpolados linearmente entre anos com dados.

Os **coeficientes técnicos** de retirada e de consumo utilizados para a estimativa das demandas hídricas do setor mineral são baseados no estudo realizado pelo MMA (Brasil, 2011) (Figura 28). Esse estudo contou com a participação do setor. Uma nova análise dos estudos mais recentes não apontou a necessidade de revisão dos coeficientes.

Além dos diferentes valores de retirada (m^3/t), destaca-

se a variação no consumo médio: desde 8,6% da retirada (metais preciosos), alcançando até 85% (alumínio) (Figura 28). Considerando a participação das diferentes tipologias, o consumo médio global da atividade é da ordem de 30% da retirada.

Com as informações de produção mineral (tonelada por classe mineral) e os coeficientes técnicos adotados (m^3 de água por tonelada), as vazões de retirada (Q_{Min}), consumo e retorno foram calculadas conforme as equações:

Equação 13

$$Q_{Min} = \sum_{i=1}^n (P_{min} * k_r)$$

Em que:

Q_{Min} = a vazão retirada total para mineração (m^3/ano); 1 ano = 31.536.000 segundos.

P_{min} = é a quantidade produzida de determinada classe mineral por município, no ano (t);

k_r = é o coeficiente de retirada por classe mineral ($m^3.t$).

A vazão de consumo foi obtida por:

Equação 14

$$Q_{Min.cons} = \sum_{i=1}^n (Q_{Min.classe} * k_c)$$

Em que:

$Q_{Min.cons}$ = a vazão de consumo total no município (m^3/s);

k_c = o coeficiente de consumo por classe mineral (%).

A vazão de retorno foi calculada pela diferença entre retirada e consumo:

Equação 15

$$Q_{Min.ret} = Q_{Min} - Q_{Min.cons}$$

A principal referência de estudo setorial que aborda o cenário futuro do setor de mineração é o Plano Nacional de Mineração 2030 (Brasil, 2011), no qual foram definidas taxas de crescimento para diversas classes de minérios para um futuro próximo (2022) e distante (2030).

Como referência para a definição das taxas de crescimento da produção mineral, o PNM considerou a projeção de crescimento do PIB em 5,1% ao ano, além do histórico da produção de cada substância mineral e de conjunturas que pudessem influenciar a projeção. No entanto, a conjuntura econômica utilizada como premissa no PNM foi bastante otimista, sendo incompatível com as séries registradas posteriormente ao Plano.

Sendo assim, para considerar as análises do PNM e mantendo uma projeção mais realista, foram aplicadas as médias simples entre o crescimento do cenário estabelecido no PNM e a tendência recente (2005-2013) observada na produção mineral na PIA (IBGE, 2016b).

5.3 Resultados

As séries de vazões de retirada, consumo e retorno (1931-2030) para o país são apresentadas no Infográfico (Figura 29). Atualmente, as demandas concentram-se nos estados de Minas Gerais (53%) e Pará (28%), respondendo por mais de 85% da retirada, totalizando 26,6 m³/s. O total extraído pelo setor foi de 32,9 m³/s em 2017.

No gráfico (Figura 29), observa-se que ocorreu incremento significativo nas vazões de retirada a partir da década de 1970. A demanda dobrou entre 1970 e 1980 e quadruplicou entre 1980 e a atualidade. A queda recente observada em 2009 foi devida à crise econômica global vivenciada no período, com impactos significati-

vos no mercado internacional de minério de ferro. As projeções futuras indicam um crescimento de até 75% das vazões para a extração mineral, alcançando 55 m³/s em 2030.

De forma discretizada, a Tabela 7 apresenta a proporção das vazões de retirada em 2016, conforme as quatro categorias de substância mineral. Observa-se a maior importância do minério de ferro na composição das retiradas. Os minerais metálicos não-ferrosos respondem pela maior parte da demanda de consumo devido aos consumos proporcionalmente mais elevados em relação à retirada, notadamente por conta da grande produção de alumínio que responde por 80% da produção mineral dessa classe e cujo coeficiente médio de consumo é de 85% da retirada.

Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br e www.ana.gov.br/metadados.

Tabela 7 - Demanda relativa de retirada e de consumo por classe mineral

Classe	Retirada (%)	Consumo (%)
Carvão Mineral	6,5%	4,8%
Minério de Ferro	49,8%	31,5%
Minerais metálicos não-ferrosos	14,6%	40,0%
Minerais não-metálicos	29,1%	23,7%

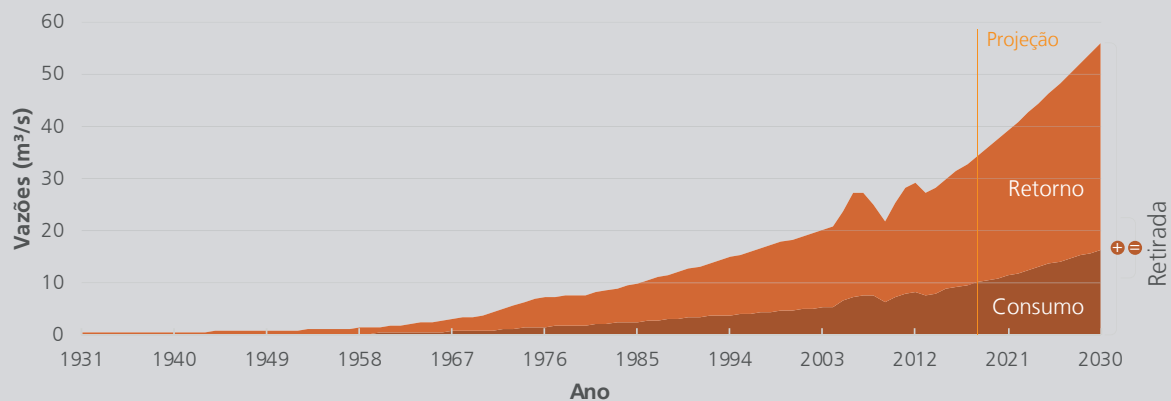
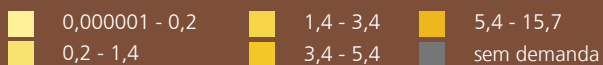


Área de mineração desativada em Ritópolis (MG), na bacia do rio Grande
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

Figura 29 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Indústria Extrativa Mineral



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Mineração			
Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1º	PA	Parauapebas	7,244
2º	MG	Mariana	2,967
3º	MG	Nova Lima	2,448
4º	MG	Congonhas	1,959
5º	MG	Itabira	1,813
6º	MG	Itabirito	1,562
7º	MG	São Gonçalo do Rio Abaixo	1,438
8º	MG	Ouro Preto	1,266
9º	SC	Treviso	0,937
10º	MG	Brumadinho	0,775

Destacam-se nos valores de vazões de retirada para mineração os municípios de Parauapebas (PA), Mariana (MG) e Nova Lima (MG). Outros municípios mineiros apresentam retirada média superior a 1 m³/s. Treviso, em Santa Catarina, se destaca pela produção de carvão mineral. Para 2030 projeta-se um aumento importante das vazões retiradas, em consonância com as perspectivas expressas no Plano Nacional de Mineração.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.

6.1 Introdução

A irrigação corresponde à prática agrícola que utiliza um conjunto de equipamentos e técnicas para suprir a deficiência total ou parcial de água para as plantas.

A agricultura irrigada é o maior uso da água no Brasil e no mundo. A intensificação da atividade no nosso país ocorreu a partir das décadas de 1970 e 1980 e deve-se a alguns fatores-chave, em especial: a expansão da agricultura para regiões com clima desfavorável; estímulos governamentais de desenvolvimento regional; e benefícios observados na prática com boa disponibilidade de financiamentos. A maior parte da área irrigada atual é privada (97%) e a atividade está dispersa por todo o território.

Diante da importância da agricultura irrigada no planejamento e na gestão dos recursos hídricos, a ANA tem investido nos últimos anos na consolidação de uma nova base técnica, que recentemente teve seus principais resultados publicados no *Atlas Irrigação: uso da água agricultura irrigada* (ANA, 2017). Esse documento, disponível em <http://atlasirrigacao.ana.gov.br>, apresenta maior detalhamento da situação e do prognóstico das áreas irrigadas.

Neste capítulo é apresentado um detalhamento da metodologia e das variáveis explicativas utilizadas para a geração das séries mensais destinadas à irrigação no período analisado (1931-2030), bem como uma síntese dos principais resultados.

Como grandes números do uso da água para irrigação, a Figura 30 ilustra a variação das vazões de retirada nas unidades federativas em 2017. Destaca-se o estado do Rio Grande do Sul com a maior vazão de retirada, com importante participação do tradicional cultivo de arroz sob inundação. Minas Gerais e Bahia, que apresentam irrigação diversificada, com destaque para os pivôs centrais para produção de grãos, também se destacam. A Figura 31 apresenta a distribuição regional das demandas estimadas.

6 AGRICULTURA IRRIGADA

Pivô central em funcionamento na região do Alto Rio Paranapanema (SP)
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

6.2 Método e Base de Dados

Existem diversas técnicas para cálculo da demanda de água pela agricultura irrigada, sendo mais comum o emprego de métodos indiretos baseados na necessidade de água da cultura, em um dado estágio de desenvolvimento e em um determinado local. Dessa forma, o método baseia-se no balanço hídrico nas áreas irrigadas, atribuindo à irrigação a fração de água necessária às culturas e não suprida por fontes naturais (chuva e solo). A Figura 32 apresenta uma representação esquemática dos principais processos relacionados à irrigação e à estimativa de demandas.

Esse tipo de estimativa simplifica os processos que ocorrem na interface agricultura - ciclo hidrológico, requerendo três grupos de informações: **clima, culturas e sistemas de irrigação**.

Os **dados climáticos** informam qual o suprimento potencial de água da chuva para as plantas e qual a evapotranspiração potencial de referência de uma região. A evapotranspiração compreende tanto a evaporação da superfície do solo e da vegetação quanto a transpiração das plantas.

Cada **cultura** necessita de uma quantidade de água, e em cada fase de desenvolvimento da mesma cultura essa quantidade também varia. Essa informação é agregada para se calcular a evapotranspiração real da cultura, ou seja, o suprimento necessário para seus processos fisiológicos naquele clima local.

O **clima e a cultura**, em conjunto com informações sobre o **solo**, auxiliam na estimativa da disponibilidade de água no solo e da precipitação efetiva (água da chuva que a planta consegue efetivamente aproveitar). A irrigação visa suplementar o que a planta necessita, ou seja, complementa o que é fornecido pelas demais fontes (solo e chuva).

Por fim, é necessário conhecer a **eficiência do sistema de irrigação** adotado para que se estime as perdas que

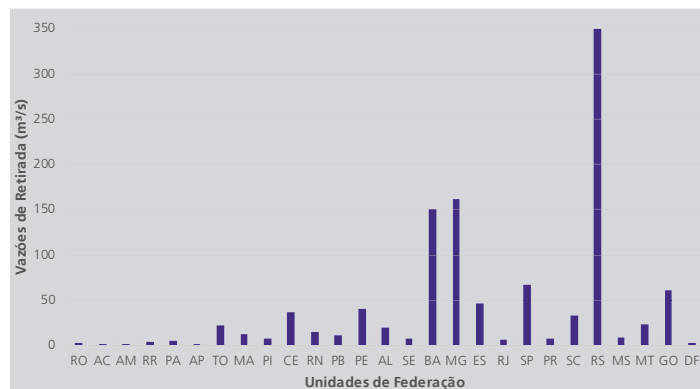


Figura 30 - Vazões de Retirada (m³/s) para Irrigação nas UFs



Figura 31 - Percentuais De Retirada Para Irrigação Em Relação À Retirada Total em Cada Região

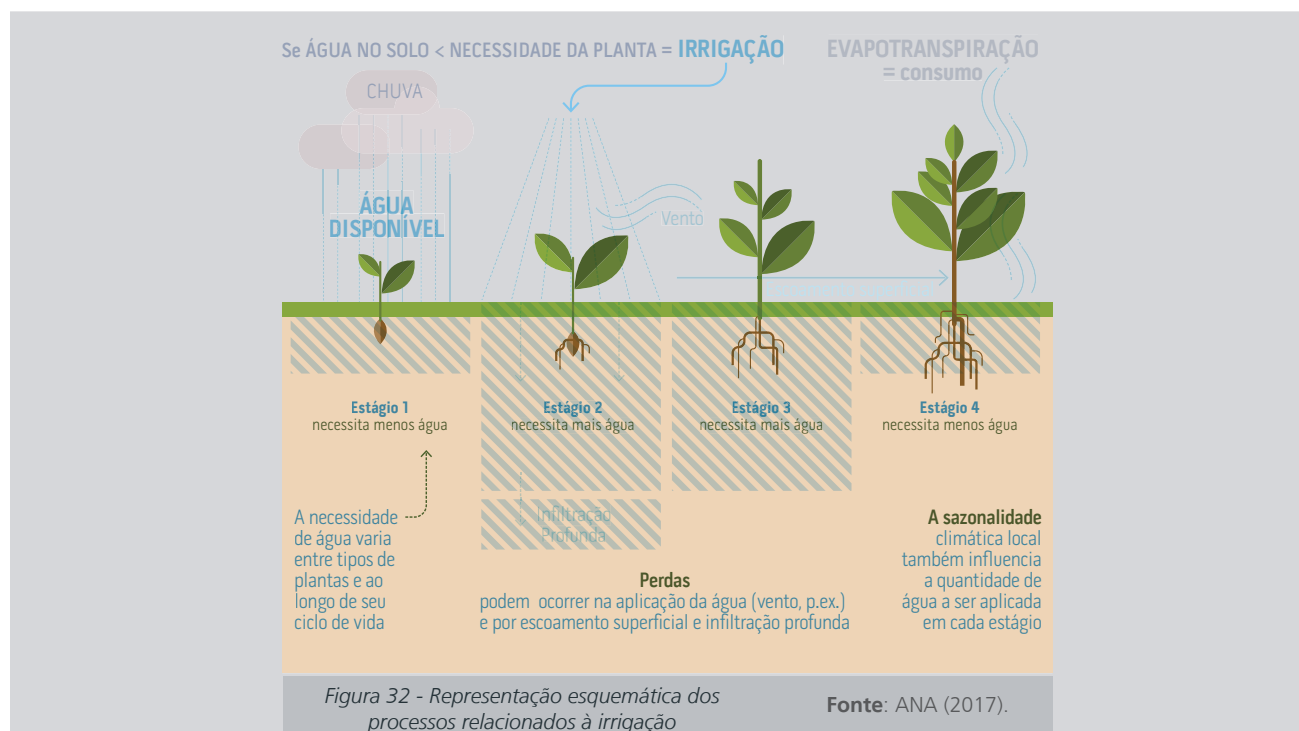


Figura 32 - Representação esquemática dos processos relacionados à irrigação

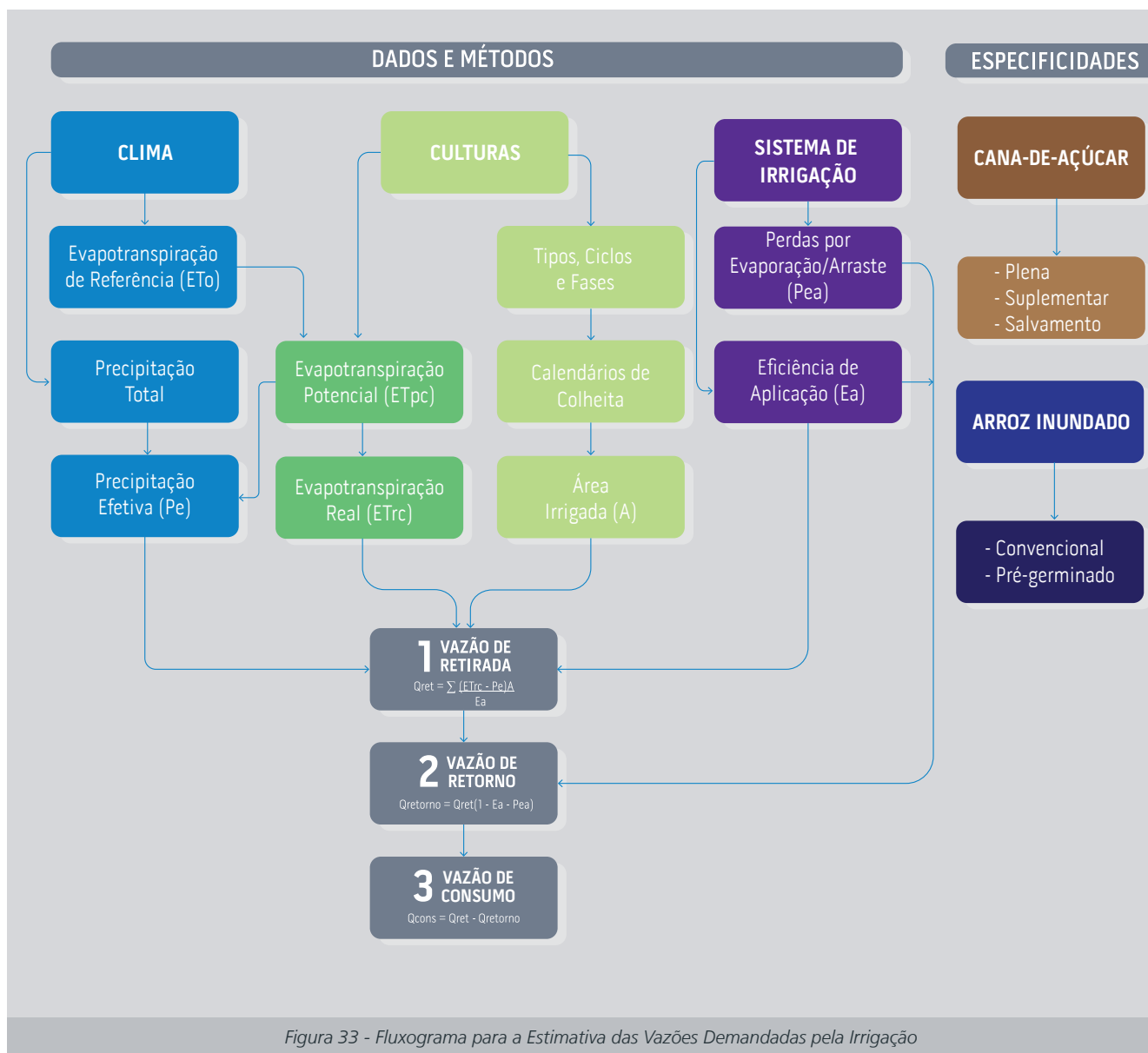
ocorrem entre o volume de água captado e o volume de água utilizado pela planta.

Além do método geral empregado para todas as culturas, foram propostas adaptações na metodologia para a estimativa de uso pelo arroz cultivado sob inundação e pela cana-de-açúcar, conforme abordado no Atlas Irrigação (ANA, 2017), permitindo uma melhor caracterização das demandas nas duas culturas de maior área irrigada do país.

O fluxograma (Figura 33) detalha as etapas para estimativa das vazões associadas à irrigação, que serão pormenorizadas na sequência.

O método geral requer informações climáticas e da cultura a fim de se obter a evapotranspiração real e a precipitação efetiva. As características das culturas também englobam as áreas irrigadas e os tipos e calendários de cultura nos municípios. Os sistemas de irrigação, por sua vez, permitem estimar a eficiência do uso da água e, portanto, as parcelas de perdas (água retirada não aproveitada pelas plantas), bem como as perdas por evaporação e arraste que não retornam diretamente aos corpos hídricos.

A estimativa do volume mensal de retirada destinado à irrigação em um município para uma cultura, segundo determinada data de cultivo, é dada pela Equação 16. Após a estimativa do volume destinado a uma cultura (c) em determinado mês (m) relativo a uma data de colheita (dc) no município (mu) torna-se necessário somar os volumes destinados à irrigação no mês para todas as datas de cultivo da cultura pela Equação 17. O volume de retorno da irrigação no município será obtida considerando a eficiência de uso da água e as perdas por evaporação e arraste durante a aplicação nos sistemas por aspersão, conforme a Equação 18. O volume de consumo mensal de determinada cultura é obtido pela diferença entre a retirada e o retorno (Equação 19). A demanda municipal é obtida pelo somatório dos volumes destinados a cada cultura.



Equação 16

$$V_{c,m,\mu,dc} = \frac{(ETrc_{c,m,\mu,dc} - Pef_{c,m,\mu,dc}) \cdot A_{c,m,\mu,dc} \cdot t_{c,m,dc}}{Ea_{c,\mu}} \cdot 86400$$

Em que:

- $V_{c,m,\mu,dc}$ = volume mensal (m) destinado à irrigação de uma cultura (c) e relativo a uma data de cultivo (dc) em um município (mu), m³;
- $ETrc_{c,m,\mu,dc}$ = evapotranspiração real para a cultura (c), no mês (m), no município (mu) e para uma data de cultivo (dc), mm d-1;
- $Pef_{c,m,\mu,dc}$ = precipitação efetiva para a cultura (c), no mês (m), no município (mu) e para uma data de cultivo (dc), mm d-1;
- $Ea_{c,\mu}$ = eficiência de irrigação para a cultura (c) na região onde se encontra o município (mu), adimensional;
- $A_{c,m,\mu,dc}$ = área mensal irrigada de uma determinada cultura (c), no município (mu) e relacionada a uma data de cultivo, ha; e
- $t_{c,m,dc}$ = duração do ciclo da cultura (c) no mês considerado (m) e correspondente a uma data de cultivo específica (dc), dias.

Equação 17

$$V_{c,m,\mu} = V_{c,m,\mu,dc1} + V_{c,m,\mu,dc2} + \dots + V_{c,m,\mu,dcn}$$

Em que:

- $V_{c,m,\mu}$ = volume destinado à irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³;
- $V_{c,m,\mu,dc1}$ = volume mensal destinado à irrigação por uma cultura relacionado a uma data de cultivo 1 para o município em análise, m³;
- $V_{c,m,\mu,dc2}$ = volume mensal destinado à irrigação por uma cultura relacionado a uma data de cultivo 2 para o município em análise, m³; e
- $V_{c,m,\mu,dcn}$ = volume mensal destinado à irrigação por uma cultura relacionado a uma data de cultivo "n" para o município em análise, m³.

Equação 18

$$V_{r,m,\mu} = V_{c,m,\mu} - (V_{c,m,\mu} \cdot Pea_{s,c,\mu}) - (V_{c,m,\mu} \cdot Ea_{c,\mu})$$

Em que:

- $V_{r,m,\mu}$ = volume de retorno da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³;
- $V_{c,m,\mu}$ = volume destinado à irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³;
- $Pea_{s,c,\mu}$ = perda por evaporação/arraste do sistema de irrigação predominante da cultura, no município, adimensional; e
- $Ea_{c,\mu}$ = eficiência de irrigação para a cultura (c) na região onde se encontra o município (mu), adimensional;

Equação 19

$$V_{cons,m,\mu} = V_{c,m,\mu} - V_{r,m,\mu}$$

Em que:

- $V_{cons,m,\mu}$ = volume de consumo da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³;
- $V_{c,m,\mu}$ = volume de retirada da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³
- $V_{r,m,\mu}$ = volume de retorno da irrigação para uma cultura (c) em um determinado mês (m) para o município (mu) em análise, m³

6.2.1 Precipitação Efetiva

Para a determinação das séries de precipitação média mensal foram utilizados os dados provenientes da rede de estações do Banco de Dados de Informações Hidrológicas (Hidro/ANA).

Foram utilizadas 10.083 estações com disponibilidade de dados acima de 60 meses (cinco anos) (Figura 34). As séries mensais da rede de estações foram interpoladas para uma malha quadrada recobrando todo o território brasileiro. A interpolação foi realizada considerando a disponibilidade de dados na própria quadrícula e nas estações próximas, resultando em uma série de dados mensais observados interpolados. Posteriormente, essa série mensal foi estendida e/ou preenchida para completar períodos sem dados ou com falhas, entre 1931 e 2030, utilizando-se os valores médios mensais da própria série interpolada de forma a preservar as características locais de sazonalidade.

Para cálculo da irrigação, a precipitação efetiva corresponde à parcela da precipitação total efetivamente utilizada pela cultura para atender as suas necessidades evapotranspirométricas. A precipitação efetiva é estimada em função do armazenamento de água no solo,

da evapotranspiração da cultura e da precipitação, com base em estudo conduzido pelo USDA (1970) (Equação 20).

O fator médio de armazenamento de água no solo (SF) foi fixado em 1,0, correspondente a um valor de armazenamento médio de 75 mm. Conforme discutido em MMA (Brasil, 2011), variações da ordem de 30% no armazenamento, o que abrange a maior parte dos solos sob irrigação, implicariam em correções na precipitação inferiores a 7%, o que é potencialmente inferior aos erros embutidos na totalização de valores mensais, suas extrapolações e interpolações.

Equação 20

$$P_e = SF (0,70917 P_t^{0,82416} - 0,11556) \cdot (10^{0,02426 ET_c})$$

Em que:

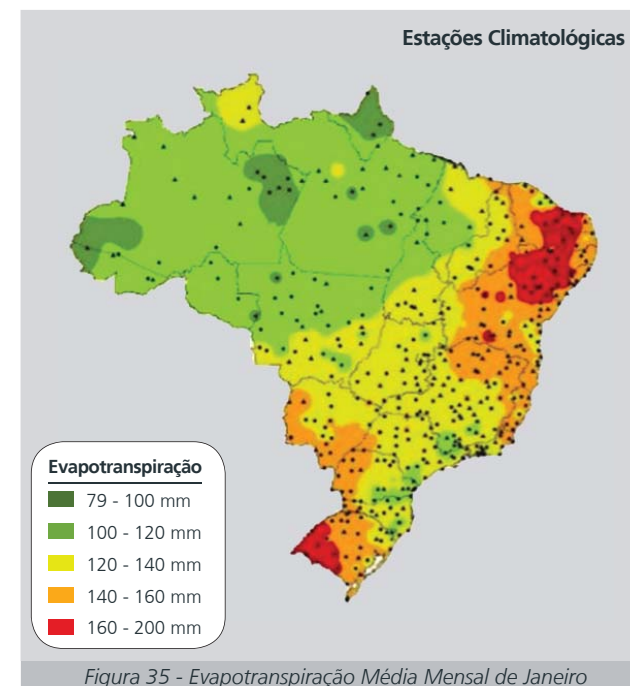
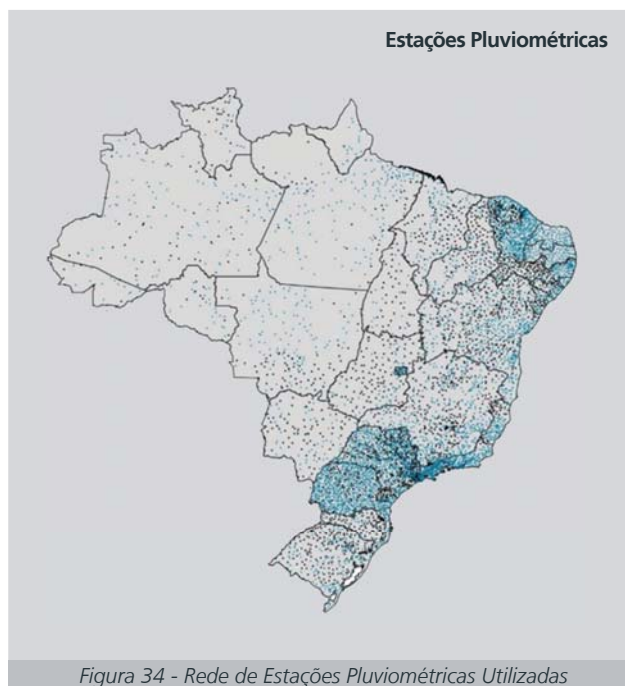
- P_e = precipitação efetiva média mensal, mm;
- P_t = precipitação total média mensal, mm;
- ET_c = evapotranspiração média mensal da cultura, mm; e
- SF = fator de armazenamento de água no solo (= 1).

6.2.2 Evapotranspiração

Para determinação da evapotranspiração real da cultura, o método requer os cálculos da evapotranspiração de referência (ou potencial) e da evapotranspiração potencial da cultura.

A evapotranspiração de referência (ET_o) é a quantidade de água a ser utilizada em uma superfície do solo totalmente coberta com grama em crescimento ativo (altura entre 8 e 15 cm) e sem restrição hídrica. A estimativa da ET_o foi obtida pelo método Penman-Monteith-FAO, conforme Equação 21, descrita em Allen et al. (1998).

As variáveis climatológicas foram obtidas da rede de estações convencionais e automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Para tanto foram selecionadas 524 estações meteorológicas (261 automáticas) (Figura 35). As séries mensais da rede de estações foram interpoladas para uma malha quadrada de 50 x 50 km recobrando todo o território brasileiro. Posteriormente, essa série mensal foi estendida e/ou preenchida para completar o período entre 1931 e 2030, utilizando-se



Equação 21

$$ET_o = \frac{0,480 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{(T + 273)} U_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0,34 U_2)}$$

Em que:

- ET_o = evapotranspiração de referência, mm d⁻¹;
- R_n = radiação líquida à superfície de cultura, MJ m⁻² d⁻¹;
- G = densidade do fluxo de calor do solo, MJ m⁻² d⁻¹;
- T = temperatura média do ar diária a 2 m de altura, °C;
- U₂ = velocidade do vento a 2 m de altura, m s⁻¹;
- e_s = pressão de vapor de saturação, kPa;
- e_a = pressão atual de vapor, kPa;
- (e_s - e_a) = déficit de pressão de vapor de saturação, kPa;
- Δ = declividade da curva de pressão de vapor, kPa °C⁻¹; e
- γ = constante psicrométrica, kPa °C⁻¹.

Equação 22

$$ET_{pc} = ET_o K_c$$

Em que:

- ET_{pc} = evapotranspiração potencial da cultura, mm d⁻¹; e
- K_c = coeficientes de cultura para determinada fase de desenvolvimento, adimensional.

Equação 23

$$ET_{rc} = ET_{pc} K_s$$

- ET_o = evapotranspiração potencial de referência, mm d⁻¹;
- ET_{rc} = evapotranspiração real da cultura, mm d⁻¹; e
- K_s = o coeficiente de umidade do solo, adimensional.

Equações 24

$$K_s = \left(1 + \frac{\log(LAA+1)}{\log(CTA+1)} \right) / 2$$

$$CTA = CAD \cdot Z$$

$$LAA = CTA \cdot f$$

Em que:

- LAA = lâmina atual de água, mm;
- CTA = capacidade total de armazenamento, mm;
- CAD = capacidade de água disponível, mm;
- Z = profundidade efetiva do sistema radicular da cultura, m; e
- f = fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico, adimensional

os valores médios mensais da própria série interpolada de forma a preservar as características locais de sazonalidade.

A Figura 35 também mostra os valores médios mensais de evapotranspiração para o Brasil no mês de janeiro, ilustrando a representatividade da rede de estações. A incorporação de estações automáticas é um importante ganho de qualidade em relação a estudos anteriores, uma vez que se observava maior carência dessas medições em diversos polos de irrigação, aos quais se fazia necessário o uso de dados de estações convencionais distantes.

A evapotranspiração potencial da cultura (ET_{pc}) consiste na evapotranspiração de uma cultura em ótimas condições de umidade e nutrientes no solo, de modo que seja permitida a produção potencial dessa cultura nas condições de campo. A ET_{pc} depende da ET_o e dos valores de coeficientes de cultura das diferentes fases de desenvolvimento de cada cultura, estes disponíveis em Allen et al. (1998). A ET_{pc} é dada pela Equação 22.

Com base nas fases de desenvolvimento da cultura é possível determinar a curva que representa as mudanças do K_c ao longo do ciclo da cultura. O boletim FAO 56 (Allen et al., 1998) detalha a divisão dos ciclos de desenvolvimento das culturas (fases inicial, desenvolvimento vegetativo, média e final) e os valores de referência adotados na presente estimativa de demandas.

A duração do ciclo das culturas (nº de dias em cada fase) depende de vários fatores, como, por exemplo, época de plantio, variedade da cultura e das condições do solo e clima. Dessa forma, os valores de referência disponíveis no Boletim FAO 56 foram adaptados às condições brasileiras por meio da análise dos principais meses de plantio e de colheita das culturas temporárias - dados disponíveis no Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009). Para as culturas permanentes a estimativa das durações

das fases das culturas não se fez necessária, uma vez que se utilizou o K_c médio para todo o ciclo da cultura.

A evapotranspiração real da cultura (ET_{rc}) é a quantidade de água evapotranspirada por uma determinada cultura sob condições normais de cultivo. A ET_{rc} está condicionada, além dos elementos meteorológicos, à porcentagem de cobertura do solo, ao tipo de cultura e à disponibilidade de água no solo, sendo calculada a partir da evapotranspiração potencial (ET_{pc}) e do coeficiente de umidade do solo (K_s) (Equações 23 e 24).

O K_s considerado corresponde à média entre o momento em que o solo se encontra próximo a capacidade de campo e o limite de depleção de água (Equação 24), sendo necessárias informações sobre lâmina atual de água (LAA) e capacidade total de armazenamento (CTA). A determinação desses valores, por sua vez, depende do fator de disponibilidade de água quando ainda não há estresse hídrico (f), da profundidade efetiva do sistema radicular da cultura (Z) e da capacidade de água disponível (CAD).

O fator de disponibilidade ou coeficiente de depleção (f) representa o percentual limite de água disponível no solo para que a cultura não sofra redução expressiva em sua taxa de evapotranspiração máxima. O valor depende da cultura e das condições climáticas, sendo adotados os valores de referência do Boletim FAO 56.

Os valores de profundidade do sistema radicular (Z) também foram obtidos do Boletim FAO 56.

A obtenção da capacidade efetiva de armazenamento de água no solo (CAD) é realizada a partir da estimativa da capacidade de campo e do ponto de murcha permanente, devendo-se, para tanto, utilizar funções de pedo-transferência, as quais são equações que permitem estimar a capacidade de retenção de água com base em características do solo como a textura, a densidade global e o conteúdo de matéria orgânica (Rossato,

2001; Rossato et al., 2004; Tomassela et al., 2000). As equações de pedo-transferência foram obtidas a partir de contatos realizados com a equipe do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), sendo também adotados os mapas de solos desenvolvidos no âmbito do projeto RADAMBRASIL.

6.2.3 Áreas Irrigadas e Culturas

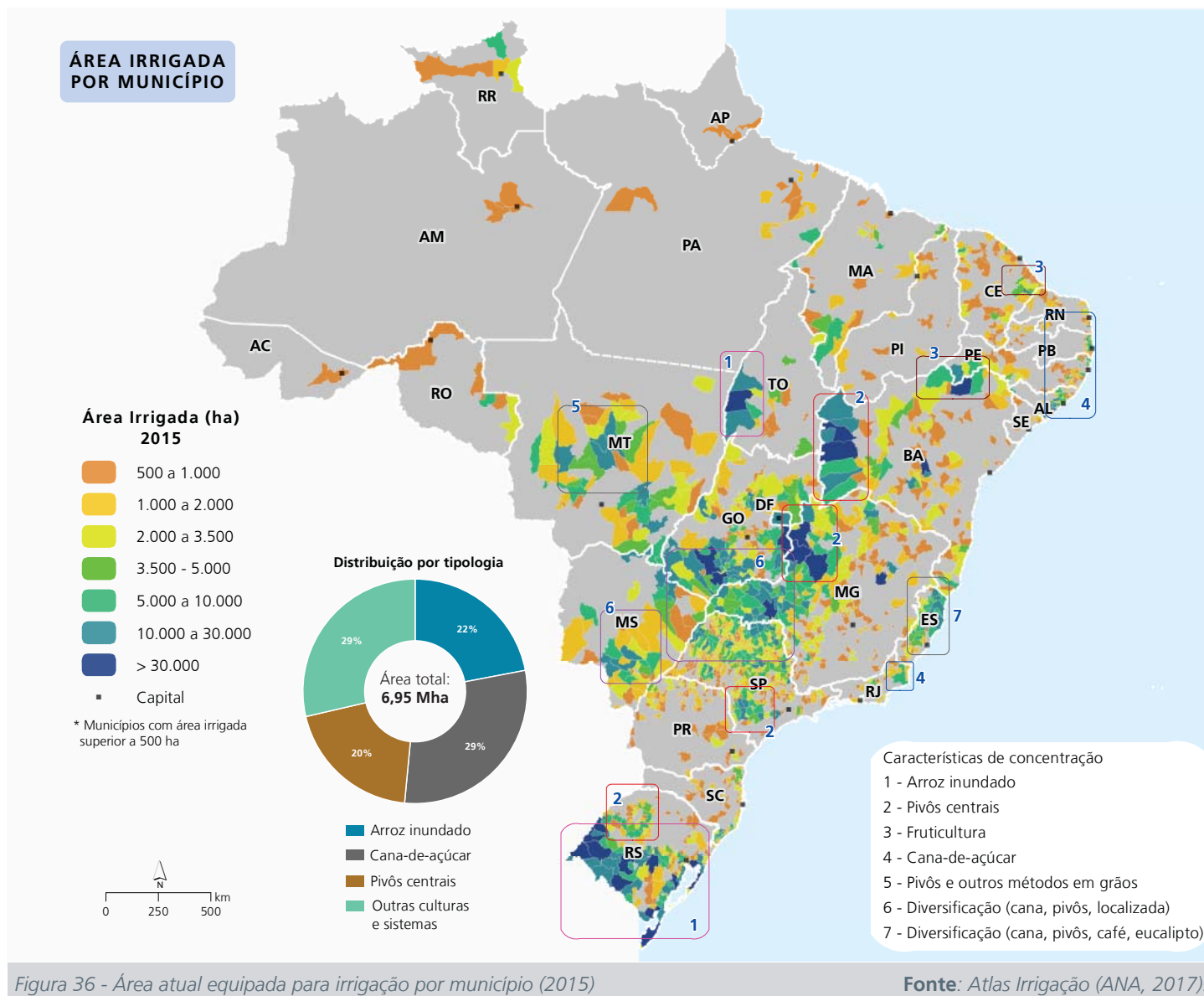
A área irrigada é uma informação-chave na determinação do uso da água pela irrigação. As séries anuais municipais de área equipada basearam-se nos Censos Agropecuários realizados pelo IBGE em 1960, 1970, 1975, 1980, 1985, 1996 e 2006 (IBGE, 2006; 2009).

Dados mais recentes foram publicados pela ANA (2017) no *Atlas Irrigação*, referentes ao ano de 2015 (Figura 36) e projeções no horizonte 2030. Essa publicação detalha o histórico de desenvolvimento da agricultura irrigada e os métodos e bases de dados associados ao levantamento recente de áreas irrigadas. A Figura 36 apresenta um panorama atual das áreas irrigadas, que totalizam 6,95 milhões de hectares.

Os anos sem informação municipal foram preenchidos com interpolação linear da área entre anos com registro. Para regressão de áreas de 1960 a 1931 foram adotadas as taxas observadas entre 1960 e 1970, ou entre 1960 e 1975, conforme disponibilidade de dados no município.

Sobre a área equipada em cada município é aplicado um coeficiente de transformação de área equipada em área colhida, que depende da composição municipal de culturas e características de número médio de safras. Esse coeficiente foi estimado utilizando a proporção de culturas (temporárias e permanentes) no município.

Além das áreas irrigadas, o método de estimativa requer informações das culturas presentes no município e do calendário de colheita das mesmas - informações



que são assumidas como constantes no horizonte de cálculo.

O percentual de cada cultura no município foi obtido do Censo Agropecuário 2006 (IBGE, 2009) e de levantamentos mais recentes: para a cana-de-açúcar e o arroz inundado (ANA, 2017); para cerca de 900 municípios em bacias críticas (ANA, 2016); e para o levantamento histórico do arroz inundado (Embrapa, 2017).

Os calendários de cultivo determinam quais meses e em que proporção ocorre a colheita de determinada cultura no município. Tais dados foram obtidos inicialmente do Censo Agropecuário 2006, aos quais foram associadas informações repassadas pela Companhia Nacional de Abastecimento - CONAB para as principais culturas irrigadas (arroz, feijão, milho, algodão e soja).

Cabe ressaltar que ocorrem muitas desidentificações nos dados municipais censitários (área equipada total e área colhida por cultura), em geral devidas ao baixo número de informantes (menos de três). Quando desidentificados, os dados foram preenchidos calculando o número de desidentificações (x) e a diferença entre a área total identificada (sem desidentificações) e a área total obtida (Equação 25). Assim, por exemplo, se a soma das áreas colhidas das culturas identificadas em um municí-

pio é de 8 mil hectares; a área total (sem distinção de cultura) é de 10 mil hectares; e há duas culturas sem dados (desidentificações), o saldo de 2 mil hectares é distribuído igualmente (preenchimento de 1 mil hectares para cada).

6.2.4 Sistemas de Irrigação

Os sistemas de irrigação determinam o potencial de eficiência do uso da água e, portanto, as parcelas de perdas (água retirada não aproveitada pelas plantas). As perdas podem ocorrer por vazamentos na distribuição e no armazenamento, evaporação, arraste ou deriva pelo vento, escoamento superficial e percolação profunda. As perdas não expressam necessariamente desperdício de água, pois nenhum equipamento garante 100% de eficiência e não é possível controlar com precisão todas as variáveis em condições de campo (a exemplo do vento). Indicadores de eficiência de uso da água por tipo de sistema são apresentados no Atlas Irrigação (ANA, 2017).

Com base no Censo Agropecuário 2006 do IBGE, para cada cultura em cada município foi associado um sistema preponderante de irrigação, adotando-se os valores de referência apresentados na Tabela 8. Na ausência de valores do município, adota-se o sistema predominante na respectiva mesorregião geográfica.

Ainda, nos métodos por aspersão, considera-se que parte das perdas por evaporação/arraste não retornam ao corpo hídrico, sendo esses valores de consumo estimados em 8,0% da retirada em pivôs centrais e 12,6% em outros métodos de aspersão, com base em ANA (2004). Nos demais sistemas, não se considera perdas por evaporação/arraste, à exceção do arroz sob inundação, cuja metodologia será abordada na sequência.

A vazão de retorno da irrigação no município será obtida considerando a eficiência de uso da água e as perdas por evaporação e arraste durante a aplicação nos sistemas por aspersão. Essas perdas são incorporadas no consumo, uma vez que não são consumidas pela evapotranspiração da cultura mas não retornam diretamente aos corpos d'água.

Tabela 8 - Eficiência de Aplicação dos Sistemas de Irrigação

Sistema de irrigação	Eficiência (%)	Perda evaporação/arraste (%)
Inundação	60	-
Sulcos	75	0
Aspersão (pivô central)	85	8
Aspersão (outros métodos)	80	12,6
Localizado (gotejamento, microaspersão etc.)	90	0
Outros métodos de irrigação e/ou molhação	60	0

6.2.5 Cana-de-Açúcar e Arroz inundado

O método geral detalhado anteriormente é empregado para todas as culturas, exceto para a cana-de-açúcar e o arroz inundado, que apresentam características especiais de manejo do uso da água não representadas adequadamente pelo método geral. Assim foi possível avançar significativamente na caracterização das demandas nas duas culturas de maior área irrigada do país. A Figura 37 apresenta a distribuição da área irrigada dessas tipologias nos municípios e unidades federativas.

Equação 25

$$A_x = \frac{A_{tot} - \sum A_{identif}}{n}$$

Em que:

A_x = área estimada para cada desidentificação, ha;

A_{tot} = área total, ha;

$A_{identif}$ = área total identificada, ha; e

n = número de desidentificações.

6.2.5.1 Irrigação em Cana-de-Açúcar

Considerando as áreas de fertirrigação e salvamento, a cana é a cultura de maior área irrigada do Brasil. Ao mesmo tempo, apresenta peculiaridades que dificultam a identificação das áreas irrigadas e a estimativa do uso da água, tais como: a aplicação em larga escala de baixas lâminas de irrigação; o elevado reuso de água dos processos industriais de produção de etanol; e a grande mobilidade e variedade dos equipamentos utilizados (ANA, 2017).

Essas características diferem da maior parte das demais culturas e caracterizam a cana como baixo consumidor de água por unidade de área, mas de grande relevância devido à larga extensão em que ocorre, o que pode alterar o balanço hídrico em escala local e regional. Dessa forma, o método geral descrito anteriormente superestimaria a água aplicada nos canais ao considerar que toda a necessidade hídrica da cana seria suplementada pela irrigação, o que não se verifica na maior parte das áreas irrigadas.

Assim, foram adotadas três formas de manejo da cultura, sendo realizadas estimativas distintas: irrigação plena, irrigação suplementar e irrigação por salvamento, sendo esta última a predominante. Esse refinamento foi possível a partir do *Levantamento da Cana-de-Açúcar Irrigada na Região Centro-Sul do Brasil* (ANA, 2017), que com base em geotecnologias e trabalhos de campo trouxe um novo panorama sobre as áreas irrigadas nessas diferentes tipologias.

A irrigação plena consiste na aplicação da lâmina de água para suprir o déficit hídrico total da cultura, conforme calculado para as demais culturas (método geral). Entretanto, no décimo mês do ciclo da cultura a irrigação deve ser suspensa para favorecer a maturação, significando um corte no uso da água (Scarpate et al., 2015). Também foram definidas lâminas máximas por

município, baseada em condições de clima médio, tendo como fundamento limitar a aplicação de água às condições de dimensionamento dos equipamentos para irrigação plena.

A irrigação suplementar consiste em suprir parcialmente a deficiência hídrica. As produtividades tendem a ser menores, mas há aumento da eficiência de aplicação e redução nos custos operacionais. Além de também prever o corte da irrigação no décimo mês do ciclo, o método considera que até 50% da deficiência hídrica, em condições de clima médio, poderá ser suprida pela irrigação, limitando a aplicação de água às condições de dimensionamento dos equipamentos para irrigação suplementar.

A irrigação por salvamento, que corresponde atualmente a mais de 90% da área irrigada de cana, consiste na aplicação de água em um período relativamente curto ou um estágio da cultura. O salvamento é realizado com carretel enrolador (*hidro roll*) ou com pivô rebocável, sendo aplicadas normalmente lâminas de 60 a 80 mm após cada corte anual da cana (Pereira et al., 2015), favorecendo sua recuperação, produtividade e longevidade. Dessa forma, o método considera a aplicação de 80 mm de água distribuídos nos três meses imediatamente após o corte da cana (colheita), garantindo a germinação nos períodos secos.

Sabe-se que o salvamento reaproveita em larga escala a vinhaça e outros subprodutos oriundos do processo industrial de produção do etanol. Tais efluentes podem ser aplicados puros ou ainda diluídos em água captada diretamente dos corpos hídricos. Consequentemente, parte da demanda de consumo estimada para a cana refere-se ao reuso dos processos industriais. Avaliações mais abrangentes estão sendo conduzidas pela ANA no sentido de se estimar as proporções de água efetivamente captada e água de reuso.



Áreas de cana-de-açúcar em Mesópolis (SP)
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

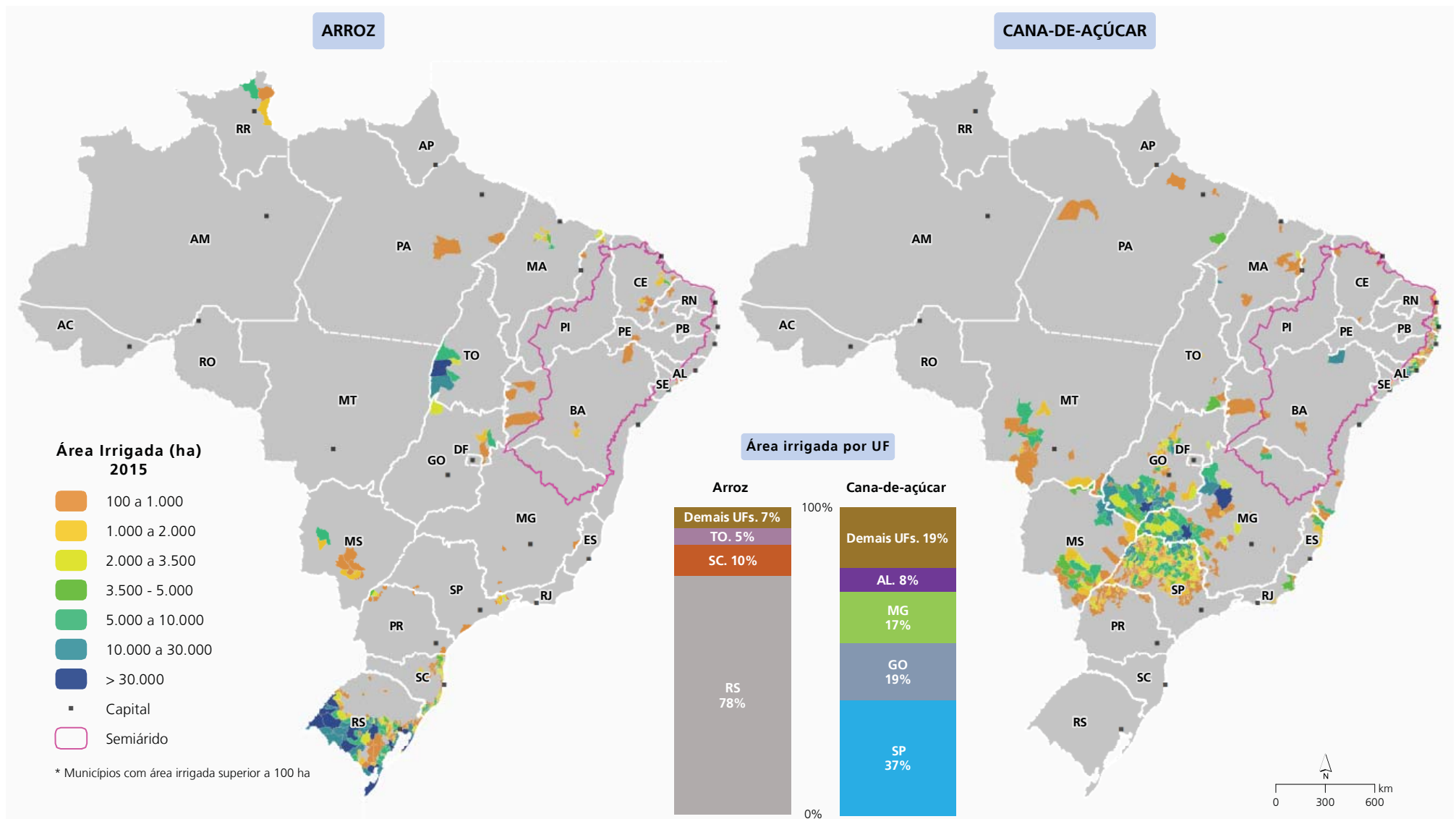


Figura 37 - Área atual equipada para irrigação por município – arroz e cana-de-açúcar

Fonte: Atlas Irrigação (ANA, 2017).

6.2.5.2 Irrigação em Arroz por Inundação

O arroz cultivado sob inundação apresenta a segunda maior área irrigada no país e responde pelo maior consumo de água.

A evaporação da lâmina d'água é um fator crítico a ser considerado no cálculo, bem como os diferentes tipos de manejo – agrupados nos sistemas convencional e pré-germinado. No primeiro caso, a semeadura é realizada em solo não inundado, e a inundação é iniciada alguns dias após a emergência das plantas. No sistema pré-germinado, a irrigação se inicia antes da semeadura, durante os procedimentos finais de preparo do solo. Após esta etapa, a altura da lâmina d'água é elevada até um determinado nível e mantida assim até a semeadura, que ocorre em solo inundado.

As condições especiais na dinâmica do uso da água em relação às demais culturas exigiram uma metodologia específica de estimativa, baseada no método desenvolvido por Amaral et al. (2005). O cálculo foi efetuado em todos os municípios onde foi identificado esse tipo de irrigação, que se concentra no Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Tocantins (Figura 37).

A metodologia desenvolvida abrange dois sistemas de cultivo: o sistema convencional e o pré-germinado, cujos períodos e fórmulas de cálculo são resumidos nas Tabelas 9 e 10.

Nesse cultivo, são consideradas além das vazões de retirada (captada nos corpos hídricos) e de retorno (água que retorna aos mananciais), duas classes de consumo: o consumo efetivo, que se refere ao que é consumido pela lavoura durante o período de irrigação; e a vazão de consumo, dada pela diferença entre a retirada e o retorno em base mensal.

A Figura 38 apresenta os coeficientes de cultura nas di-

ferentes fases de desenvolvimento, bem como a duração de cada fase. A duração média do ciclo da cultura entre a emergência e a maturação (colheita) é de 122 dias. Essa duração foi definida a partir das características das principais cultivares utilizadas nos Estados do Rio Grande do Sul e de Santa Catarina (Tronchoni, 1995; SOSBAI, 2003; IRGA, 2005). Como o processo de germinação da semente no sistema pré-germinado é acelerado antes da semeadura, foi considerado que a data da emergência coincidiu com a data da semeadura.

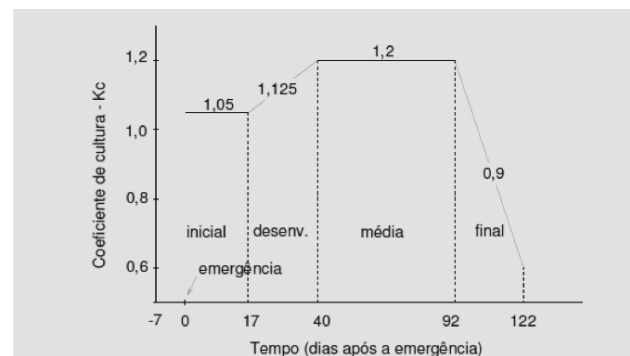


Figura 38 - Coeficiente de Cultura para as Diferentes Fases de Desenvolvimento do Arroz, Adaptado para o Ciclo Médio das Cultivares de Arroz Utilizadas na Região Sul do Brasil
Fonte: adaptado de Allen et al. (1998)

Sistema Convencional

Os períodos de irrigação e suas durações foram definidos por Amaral et al. (2005) utilizando informações contidas em Embrapa (2003), Sosbai (2003), Weber et al. (2003) e Gomes et al. (2004). A Tabela 9 apresenta os períodos e os respectivos cálculos ou valores adotados (vazões unitária e de retirada, consumo e retorno).

A vazão unitária/de retirada é considerada nula no primeiro e últimos períodos (pós-emergência, esvaziamento dos tabuleiros e colheita), onde não ocorre retirada

para irrigação.

No período de enchimento dos tabuleiros, a vazão unitária é calculada a partir da consideração de que, no momento de início da inundação, o volume de água necessário para a saturação do perfil corresponde ao volume dos macroporos do solo desde a sua superfície até a profundidade da camada impermeável, conforme a Equação 26. No período de demanda normal, adota-se a vazão unitária de 1,75 litro por segundo por hectare (Sosbai, 2003).

O valor médio da macroporosidade do solo utilizado foi de 0,051 m³/m³. (com base em König (1983), Costa (1993), Vasconcellos (1995) e Machado et al. (1996)). A lâmina de inundação foi de 0,10 m, definida com base em recomendações técnicas e nas lâminas usualmente utilizadas em lavouras comerciais. A profundidade da camada impermeável foi definida em 1 metro.

A vazão retirada nesses períodos (enchimento dos tabuleiros e demanda normal) foi calculada da mesma forma, utilizando-se as Equações 27 ou 28 (Tabela 9).

O consumo efetivo no sistema convencional, independente do período considerado, é calculado pela Equação 29. No período de pós-emergência foi considerado Ks igual a 0,9, enquanto nos demais períodos foi considerado Ks igual a 1,0.

A vazão de retorno foi considerada nula nos períodos de pós-emergência e enchimento dos tabuleiros. No período correspondente à demanda normal, a vazão de retorno foi a diferença entre a vazão de retirada e a consumida, e caso a vazão consumida fosse maior que a de retirada, a vazão de retorno seria zero (Equação 30). No esvaziamento dos tabuleiros foi considerada a altura da lâmina d'água superficial, o período de esvaziamento, a precipitação e a vazão consumida, como mostra a Equação 31.

Equação 26

$$Q_{\text{unit}} = \frac{100[(uP_{\text{imp}}) + H_{\text{lam}}]}{T_{\text{ench}} 864} + \frac{(ET_0 K_c K_s)}{8.640}$$

Equação 27

$$Q_{\text{retir}} = \left[Q_{\text{unit}} - \left(\frac{P}{8.640} \right) \right] A$$

Equação 28

$$Q_{\text{retir}} = 0$$

A Equação 27 é utilizada quando $\left(\frac{P}{8.640} \right) < Q_{\text{unit}}$ e a Equação 28 nas demais situações.

Equação 29

$$Q_{\text{cons}} = \left[\frac{(ET_0 K_c K_s) 10}{86.400} \right] A$$

No período de pós-emergência foi considerado K_s igual a 0,9, enquanto nos demais períodos foi considerado K_s igual a 1,0.

Equação 30

$$Q_{\text{retorno}} = Q_{\text{retirada}} - Q_{\text{consumo}}$$

se $Q_{\text{retorno}} < 0$, então $Q_{\text{retorno}} = 0$

Equação 31

$$Q_{\text{retorno}} = \left(\frac{H_{\text{lam}} 1.000 A}{T_{\text{esvaz}} 86.400} + \frac{P 10}{86.400} A \right) - Q_{\text{cons}}$$

Tabela 9 - Períodos para cálculo da necessidade de irrigação no arroz inundado - sistema convencional

Período	Duração (dias)	Vazão Unitária (l/s/ha)	Vazão de Retirada	Consumo Efetivo	Vazão de Retorno
Pós-emergência	de 1 a 24	0	0	0	0
Enchimento dos tabuleiros	de 25 a 29	Equação 26	Equação 27 ou 28	Equação 29	Equação 30
Demanda normal	de 30 a 97	1,75			
Esvaziamento dos tabuleiros	de 98 a 109	0	0	0	Equação 31
Preparação para a colheita	de 110 a 122	0	0	0	0

Tabela 10 - Períodos para cálculo da necessidade de irrigação no arroz inundado - sistema pré-germinado

Período	Duração (dias)	Vazão Unitária	Vazão de Retirada	Consumo Efetivo	Vazão de Retorno
Enchimento dos tabuleiros	de -25 a -21	Equação 32	Equação 27 ou 28	Equação 34	0
Pré-semeadura	de -20 a -1	1			Equação 30
Pós-semeadura	de 1 a 3	0	0	0	0
Retirada da lâmina d'água	de 4 a 10	Equação 33	Equação 27 ou 28	Equação 29	Equação 30
Reposição da lâmina d'água	de 11 a 17	1			Equação 31
Demanda normal	de 18 a 97	0	0	0	Equação 31
Esvaziamento dos tabuleiros	de 98 a 109	0	0	0	0
Preparação para a colheita	de 110 a 122	0	0	0	0

Equação 32

$$Q_{\text{unit}} = \frac{10.000[(uP_{\text{imp}}) + H_{\text{lam}}]}{T_{\text{ench}} 86.400} + \left(\frac{ET_0 10}{K_T 86.400} \right)$$

Equação 33

$$Q_{\text{unit}} = \left(\frac{H_{\text{lam}} 10.000}{T_{\text{ench}} 86.400} \right) + \left(\frac{ET_0 10}{K_T 86.400} \right)$$

Equação 34

$$Q_{\text{cons}} = \left(\frac{ET_0 10}{K_T 86.400} \right) A$$

Equações - Legenda

Q_{retir}	= vazão de retirada, m^3s^{-1} ;
Q_{unit}	= vazão unitária, $m^3s^{-1}ha^{-1}$;
Q_{retorno}	= vazão de retorno, $m^3s^{-1}ha^{-1}$;
Q_{cons}	= vazão de consumo efetivo, $m^3s^{-1}ha^{-1}$;
A	= área irrigada, ha;
u	= macroporosidade média do solo, m^3m^{-3} ;
P_{imp}	= profundidade média da camada impermeável, m;
P	= total precipitado, mm;
H_{lam}	= altura da lâmina d'água superficial, m;
T_{ench}	= duração do período de enchimento dos tabuleiros, dias;
T_{esvaz}	= duração do período de esvaziamento dos tabuleiros, dias;
ET_0	= evapotranspiração potencial da cultura, $mm d^{-1}$;
K_c	= coeficientes de cultura para determinada fase de desenvolvimento, adimensional;
K_s	= coeficiente de umidade do solo, adimensional; e
K_t	= coeficiente do tanque classe A, adimensional.

Sistema Pré-germinado

Os períodos de irrigação e suas durações foram definidos por Amaral et al. (2005) utilizando informações contidas em Gomes & Pauletto (1999), Embrapa (2003), Sosbai (2003), Weber et al. (2003), Marchezan et al. (2004) e Petrini et al. (2004). A Tabela 10 apresenta os períodos e os respectivos cálculos ou valores adotados para as vazões.

A inundação dos tabuleiros no sistema pré-germinado inicia antes da semeadura, durante os procedimentos finais de preparo do solo. Assim, mesmo antes do estabelecimento da cultura, já existe perda considerável de água para a atmosfera devido à evaporação. Além disso, a evaporação é o processo predominante no início do cultivo do arroz, decrescendo à medida que a cultura se desenvolve e a cobertura do dossel aumenta.

A vazão de retirada nos períodos de enchimento dos tabuleiros, pré-semeadura, pós-semeadura, reposição da lâmina d'água e demanda normal é calculada com a utilização da Equação 27 ou 28. Nos períodos de retirada da lâmina d'água e esvaziamento dos tabuleiros, a vazão retirada foi considerada nula.

Já o cálculo da vazão unitária varia nessas fases, sendo determinado pela Equação 32 no período de enchimento dos tabuleiros e pela Equação 33 no período de reposição da lâmina. Para os períodos pré-semeadura, pós-semeadura e de demanda normal a vazão unitária foi considerada igual a $1,0 \text{ L s}^{-1} \text{ ha}^{-1}$, de acordo com as recomendações de Sosbai (2003).

Como o processo de evaporação da água nos tabuleiros não se altera significativamente durante os primeiros dias após a semeadura, pois a transpiração das plantas

e a cobertura do dossel ainda são pequenas, o consumo efetivo de água pela cultura, no período compreendido entre o início do enchimento dos tabuleiros e o final da reposição da lâmina d'água, foi estimado considerando apenas a ocorrência de evaporação, conforme a Equação 34 e adotando $K_t = 0,8$.

Para a estimativa da evaporação foi considerado que essa seja igual à evaporação no tanque classe A, já que, de acordo com Gomes et al. (2004), a evaporação que ocorre durante os primeiros dias de cultivo do arroz é semelhante à obtida em tanques evaporímetros.

Nos períodos de demanda normal e esvaziamento dos tabuleiros a estimativa de consumo efetivo foi realizada considerando a evapotranspiração real da cultura, conforme a Equação 29.

A vazão de retorno foi considerada nula nos períodos de enchimento dos tabuleiros e retirada da lâmina d'água. Nos períodos correspondentes à pré-semeadura, pós-semeadura, reposição da lâmina d'água e demanda normal, a vazão de retorno foi a diferença entre a vazão de retirada e a consumida, e caso a vazão consumida fosse maior que a de retirada, a vazão de retorno seria zero (Equação 30). No esvaziamento dos tabuleiros foi considerada a altura da lâmina d'água superficial, o período de esvaziamento, a precipitação e a vazão consumida, como mostra a Equação 31.

O cálculo do volume mensal retirado pela cultura do arroz é realizado somando todos os volumes retirados relativos àquele mês no município em análise. Raciocínio semelhante emprega-se para estimativa do volume mensal de retorno em um município. O volume de consumo é dado pela diferença entre os volumes mensais de retirada e de retorno para um dado município.

6.2.6 Vazão Total para Irrigação

Por fim, considerando os procedimentos de cálculo apresentados anteriormente para todas as culturas, assim como as especificidades da cana-de-açúcar e do arroz inundado, a vazões estimadas para cada município (retirada, consumo e retorno) correspondem ao somatório das vazões estimadas para cada cultura (Equação 37).

Equação 37

$$Q_{\text{ret,mu}} = \frac{(V_{r1,m,mu} + V_{r2,m,mu} + \dots + V_{rn,m,mu}) + V_{r,ca,m,mu} + V_{r,a,m,mu}}{t_{\text{mes}} \cdot 86400}$$

Em que:

- $Q_{\text{ret,mu}}$ = vazão de **retirada** (ret) mensal (m) para a irrigação em determinado município (mu), $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$;
- $V_{r1,m,mu}$ = volume mensal (m) de retirada da cultura 1 (r1) para o município (mu), m^3 ;
- $V_{r2,m,mu}$ = volume mensal (m) de retirada da cultura 2 (r2) para o município (mu), m^3 ;
- $V_{rn,m,mu}$ = volume mensal (m) de retirada da cultura n (rn) para o município (mu), m^3 ;
- $V_{r,ca,m,mu}$ = volume mensal (m) de retirada (r) para a cana-de-açúcar (ca) para o município (mu), m^3 ;
- $V_{r,a,m,mu}$ = volume mensal (m) de retirada (r) para o arroz inundado (a) para o município (mu), m^3 ;
- t_{mes} = duração do mês em análise, dias.

Raciocínio análogo emprega-se à determinação das vazões mensais de **consumo** e de **retorno** em determinado município.

6.3 Resultados

A agricultura irrigada demandou 1.083,6 m³/s em 2017 no Brasil, respondendo por 52% de toda a vazão retirada e 68,4% da vazão consumida - desconsiderando a evaporação líquida de reservatórios artificiais.

A Figura 39 apresenta um panorama de concentração de áreas irrigadas com a localização e características dos principais polos de irrigação no contexto nacional. Apresenta também, de forma gráfica, a distribuição da área e da demanda de retirada em quatro agrupamentos: arroz inundado, cana-de-açúcar, outras culturas em pivôs centrais e outras culturas e sistemas. Nota-se as diferentes proporcionalidades entre área e demanda, reflexo de diferentes intensidades de uso da água.

A Figura 40 apresenta um resumo da evolução das retiradas para a agricultura irrigada no Brasil.

Na perspectiva territorial, nota-se o predomínio da atividade no Sul em 1940, e de forma mais difusa em São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Santa Catarina. Atualmente a atividade ocorre em todo o País, concentrada nos tradicionais polos do Sul e polos mais recentes no Oeste Baiano, no Triângulo e Noroeste Mineiro, no Semiárido, no Tocantins e em São Paulo.

O gráfico da Figura 40 apresenta a série de vazão retirada para irrigação entre 1931 e 2030. A atividade vem crescendo a taxas elevadas, notadamente a partir da década de 1970. O potencial de expansão é elevado, sendo prevista a incorporação de 3 milhões de hectares no horizonte 2030.

As maiores oscilações médias anuais na demanda (gráfico da Figura 40) justificam-se por anomalias climáticas, ou seja, picos representam anos mais secos em importantes polos de agricultura irrigada (maior necessidade de suplementação) e decréscimos representam anos mais úmidos (menor necessidade de irrigar).

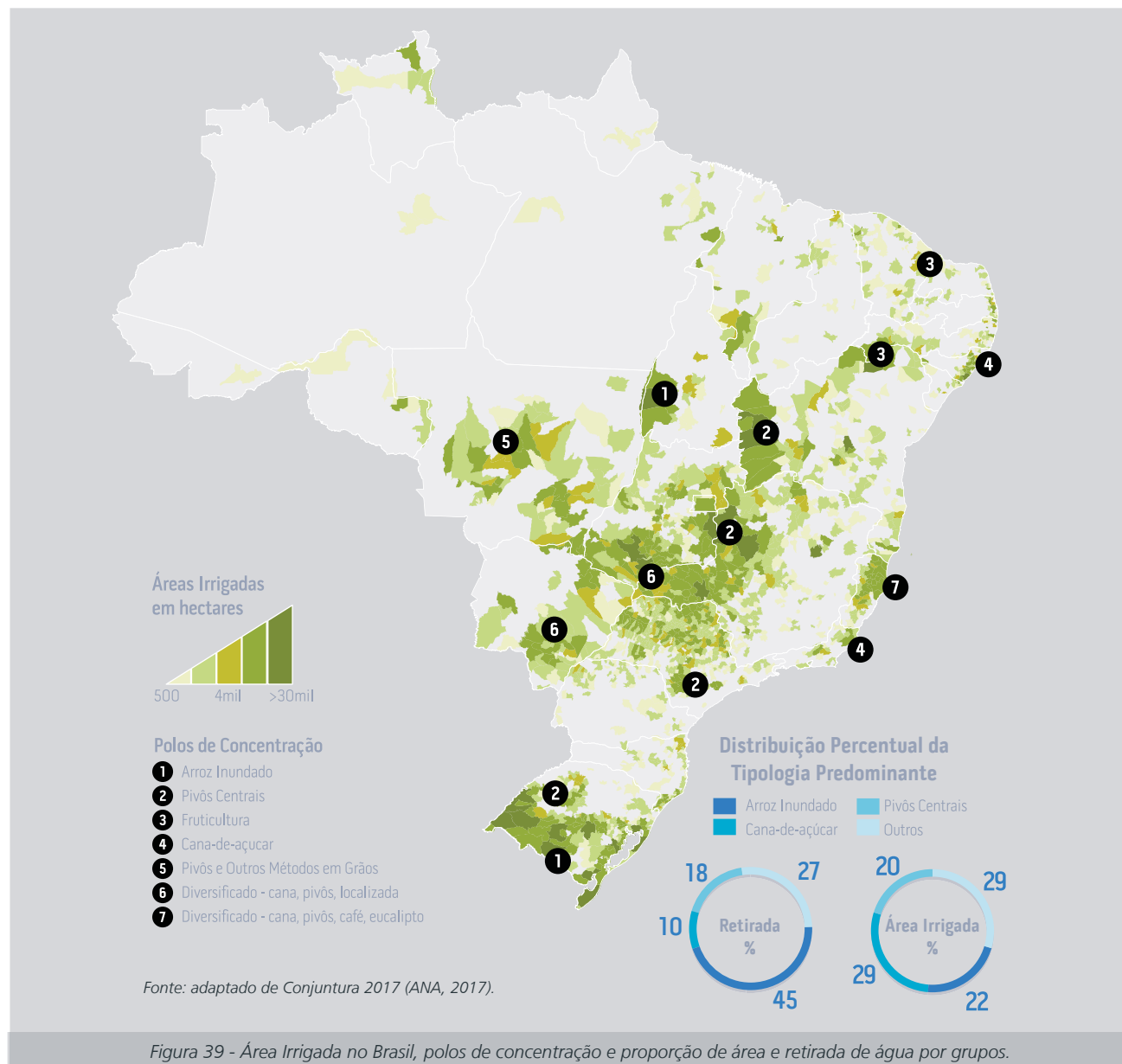
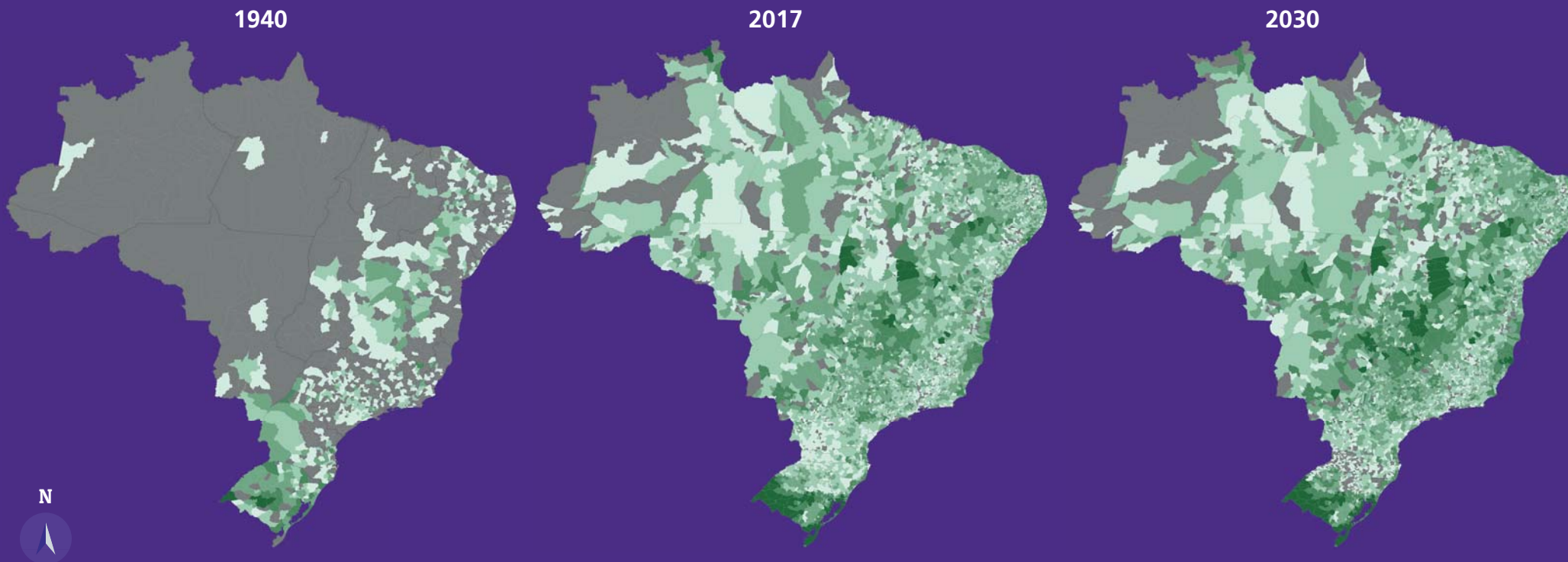
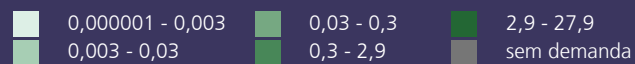


Figura 40 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Agricultura Irrigada



Vazões de Retirada por Município (m³/s)

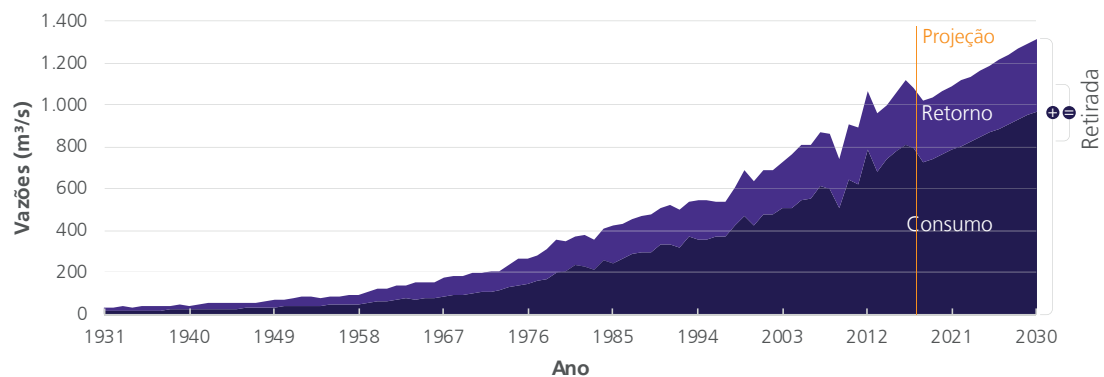


Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Agricultura Irrigada

Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1º	RS	Santa Vitória do Palmar	24,204
2º	RS	Uruguaiana	23,764
3º	RS	Alegrete	21,332
4º	RS	Itaqui	20,614
5º	BA	Juazeiro	17,040
6º	RS	São Borja	16,526
7º	RS	Mostardas	15,726
8º	PE	Petrolina	15,114
9º	BA	Barreiras	14,616
10º	RS	Arroio Grande	12,982

Destacam-se com elevadas demandas tradicionais municípios de produção de arroz no Rio Grande do Sul - cultura que associada ao sistema por inundação apresenta elevadas demandas unitárias de água. Petrolina/PE e Juazeiro/BA - municípios limítrofes - também apresentam grandes áreas irrigadas, principalmente em perímetros públicos, e elevadas demandas unitárias de água, em função de sua localização no Semiárido. Barreiras/BA localiza-se no Oeste Baiano - região de Cerrado marcada por um forte período seco, quando a prática agrícola só se viabiliza com irrigação.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.



7.1 Introdução

A energia termoelétrica é produzida por uma central com o calor gerado pela queima de combustíveis sólidos, líquidos ou gasosos. Parte expressiva do calor não é convertida em eletricidade, sendo liberada principalmente por meio dos sistemas de resfriamento do vapor das turbinas. Os sistemas de resfriamento à água demandam volumes expressivos desse recurso.

As térmicas têm ganhado relevância na capacidade instalada de geração de energia brasileira, especialmente a partir dos anos 2000, alcançando 27% de participação na matriz elétrica em 2016 - atrás apenas da hidroeletricidade com 64,5%. Além de conferir flexibilidade e segurança ao sistema energético nacional, as térmicas vêm crescendo por conta de impactos e dificuldades na geração hidrelétrica, a exemplo das alterações interanuais no regime hidrológico, custos e longo tempo necessário para estudo, projeto, licenciamento e construção.

A crescente tendência de uso dessa alternativa tecnológica na geração de energia, a alta demanda de água associada e a maneira como a água residual é devolvida ao meio ambiente, levaram a ANA a desenvolver estimativas para o setor. A inclusão dessa categoria de uso representa um desafio e, ao mesmo tempo, uma possibilidade para melhor caracterizar o uso dos recursos hídricos no território nacional.

A demanda de água em Usinas Termelétricas - UTEs depende das tecnologias de geração, tipo de combustível e sistema de resfriamento, bem como de condições ambientais intervenientes. A operação irregular - muitas vezes como fonte complementar à demanda não atendida pela geração hidrelétrica - também influencia expressivamente a variação intra e interanual das estimativas.

7 TERMOELETRICIDADE

Termelétrica Camaçari - BA
Manu Dias - Banco de Imagens/ANA

Como grandes números do uso da água para atendimento às termelétricas, a Figura 41 ilustra a variação das retiradas nas unidades federativas. Rio de Janeiro (com 21% da demanda total), Santa Catarina (13%), São Paulo (11%), Pará (9%), Maranhão (9%) e Pernambuco (8%) concentram 72% da demanda total que foi de 79,5 m³/s em 2017 (3,8% da retirada total).

A Figura 42 apresenta os respectivos percentuais de retirada nas regiões brasileiras, onde se nota a liderança do Sudeste, seguida pelo Nordeste, Sul e Norte. O Centro-Oeste apresenta menor relevância da atividade termelétrica.

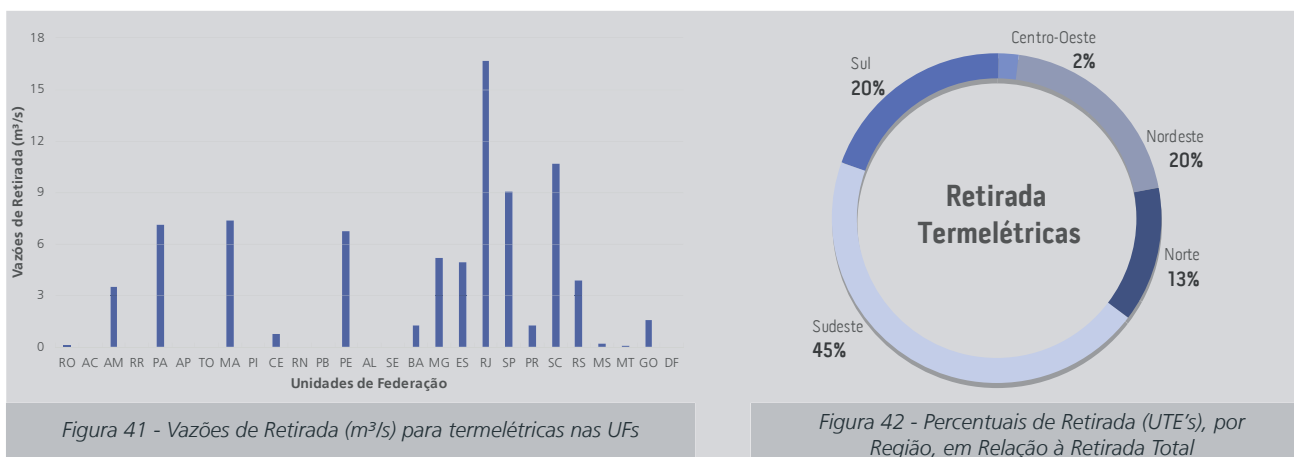


Figura 41 - Vazões de Retirada (m³/s) para termelétricas nas UFs

Figura 42 - Percentuais de Retirada (UTE's), por Região, em Relação à Retirada Total

7.2 Método e Base de Dados

O fluxograma (Figura 43) apresenta uma síntese do método de estimativa das vazões associadas à geração de termelétricas.

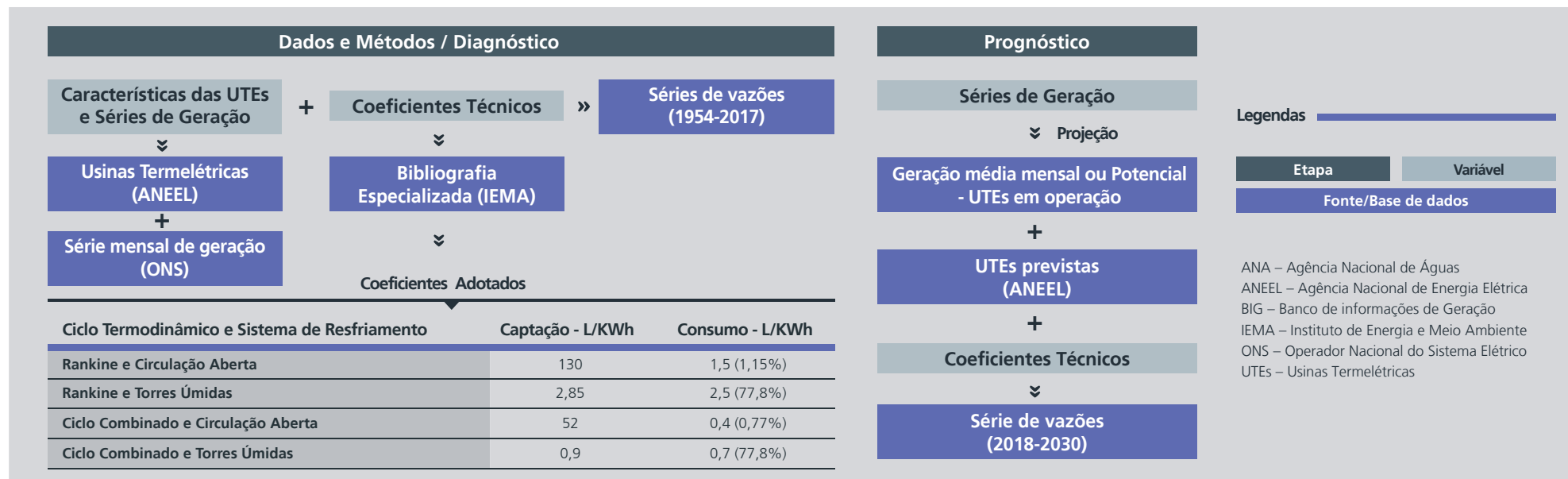


Figura 43 - Síntese do Método de Estimativa das Vazões Associadas às UTEs

O método para estimativa do setor termelétrico consiste na aplicação de coeficientes técnicos (litros por energia gerada) às séries de geração (energia efetivamente gerada) ou, na ausência dessa informação, ao potencial de geração.

Os coeficientes são agrupados em quatro categorias, com a associação entre a tecnologia de conversão do calor em energia elétrica (ciclo termodinâmico) e o sistema de resfriamento de cada UTE.

Das tecnologias de conversão mais utilizadas - Rankine, Brayton (ciclo aberto), combinado (combinação das duas anteriores) e motor a combustão - em geral apenas as do tipo Rankine e combinado dependem de sistemas de resfriamento, que podem ser a ar ou a água. O resfriamento com água pode ocorrer em sistema aberto ou sistema semifechado com torres úmidas evaporativas, conforme ilustrado na Figura 44.

Dessa forma, a demanda relevante por água ocorre em térmicas que utilizam ciclo termodinâmico Rankine ou combinado e que possuem sistema de resfriamento a água (circulação aberta ou com torres úmidas).

Do universo de 3 mil unidades geradoras térmicas operadas com combustíveis fósseis, biomassa e nuclear no Brasil, perfazendo 45 GW de capacidade outorgada, a maior parte é de geradores de pequeno porte a diesel. Angra I e Angra II (nucleares) possuem capacidade de 2 GW e utilizam água do mar no sistema de resfriamento. De acordo com o levantamento realizado, cerca de 100 UTEs efetivamente demandam volumes de água significativos em seus processos - totalizando cerca de 45% da capacidade instalada total (Figura 45).

A ANEEL disponibiliza, por meio do Sistema de Informações Georreferenciadas do Setor Elétrico (SIGEL) e do Banco de Informações de Geração (BIG), algumas características das usinas termelétricas. São disponibilizados dados referentes à localização, início da operação, po-

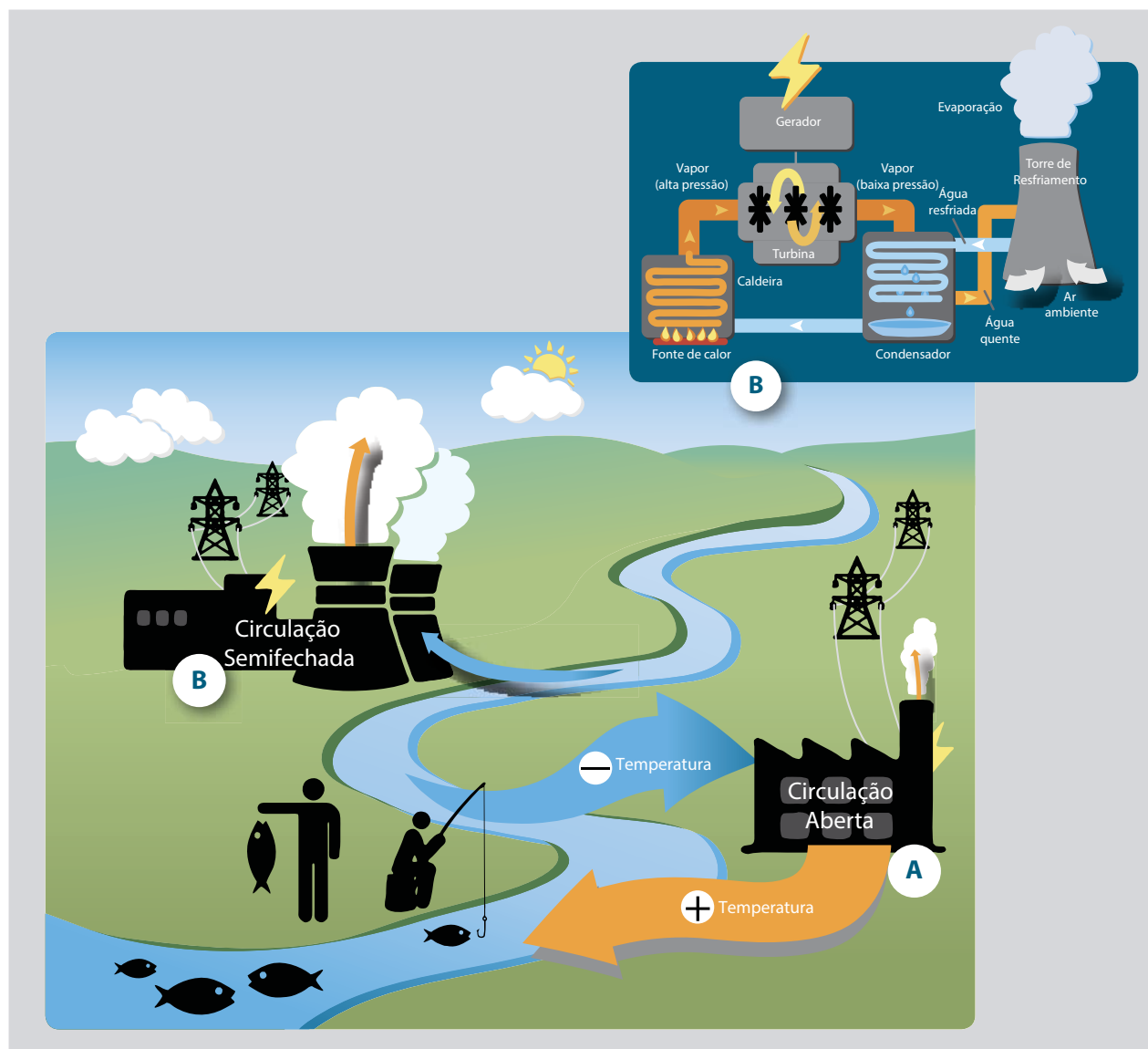


Figura 44 - Representação esquemática de térmicas com circulação semifechada com torres evaporativas e com circulação aberta.

Fonte: adaptado de Averyt et al. (2011)

tência outorgada, potência fiscalizada, destino da energia, proprietário, município e fonte/combustível.

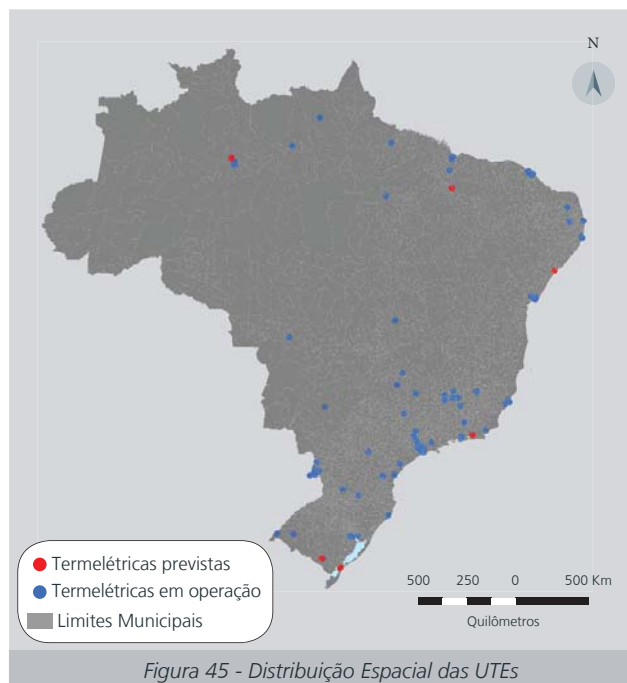
As informações características de cada UTE para aplicação dos coeficientes técnicos (ciclo termodinâmico e sistema de resfriamento) foram obtidas diretamente do ONS e de publicações específicas, especialmente do IEMA (2016). Informações do sistema de resfriamento de UTEs que operam com carvão mineral também foram obtidas em Arroyo (2012). Para as UTEs a gás natural o ciclo termodinâmico consta no Plano Nacional de Energia 2030 (Brasil, 2007).

Quando não disponíveis os dados referentes ao ciclo termodinâmico e ao sistema de resfriamento, que definem o valor dos coeficientes utilizados, foram assumidas as características de acordo com a Tabela 11.

Os coeficientes técnicos adotados (Figura 43) foram obtidos pelo Instituto de Energia e Meio Ambiente (IEMA, 2016), com base em trabalhos de Stillwell (2011) e Delgado e Herzog (2012). Foram consideradas eficiências de 50% para o ciclo combinado e 34% para o ciclo Rankine.

Nota-se que no resfriamento por circulação aberta os coeficientes de retirada são sensivelmente superiores, mas o consumo é da ordem de 1% (quase toda a água retorna). Já no resfriamento com torres úmidas, a retirada de água é bastante inferior, mas o consumo é percentualmente elevado. Assim, os valores de consumo por energia gerada são comparáveis entre os diferentes sistemas de resfriamento, sendo superiores no uso de torres úmidas (Figura 43).

As séries médias mensais de geração (2000-2017) das UTEs operadas de forma centralizada foram obtidas em consulta direta ao ONS. Essas UTEs concentram 70% da potência outorgada e apresentam grande variabilidade anual e intranual de geração, em função do acionamento variável, como fonte complementar à hidroele-



tricidade. Em anos sem informação ou com falhas nos dados, foi considerada a média mensal de geração de cada UTE, a partir da série disponível.

Para as demais usinas, sem séries de geração disponíveis, foi considerada uma geração constante correspondente à potência outorgada.

Com a preparação da base de dados, aliada ao conhecimento do ciclo termodinâmico e do sistema de resfriamento associado a cada UTE, foram aplicados coeficientes técnicos necessários para a estimativa das vazões de retirada, consumo e retorno (Equações 38 a 40).

Os mesmos critérios adotados para preenchimento de falhas foram utilizados para projetar até 2030 a demanda das UTEs que já se encontram em operação. Ou seja,

Vazão de retirada:

Equação 38

$$Q_{UTE} = \frac{E_{el} \cdot C_r}{3600000}$$

Em que:

- Q_{UTE} = a vazão de retirada da UTE ($m^3 \cdot s^{-1}$);
 E_{el} = a energia elétrica gerada ou a potência outorgada (kW);
 C_r = o coeficiente de retirada ($l \cdot kWh^{-1}$).

Vazão de consumo e de retorno:

Equação 39

$$Q_{UTE,c} = Q_{UTE} \cdot C_C$$

Em que:

- $Q_{UTE,c}$ = a vazão de consumo da UTE ($m^3 \cdot s^{-1}$);
 Q_{UTE} = a vazão de retirada da UTE ($m^3 \cdot s^{-1}$);
 C_C = o coeficiente de consumo (%);

Equação 40

$$Q_{UTE,r} = Q_{UTE} - Q_{UTE,c}$$

- $Q_{UTE,r}$ = a vazão de retorno da UTE ($m^3 \cdot s^{-1}$).

Tabela 11 - Correlação entre combustível, sistema de resfriamento e ciclo termodinâmico

Combustível	Sistema de resfriamento	Ciclo termodinâmico
Biogás	Circulação Aberta	Combinado
Carvão Mineral	Circulação Aberta	Rankine
Gás de Refinaria	Circulação Aberta	Combinado
Gás Natural	Torre Úmida	Combinado
Óleo Combustível	Circulação Aberta	Rankine
Efluente Gasoso	Circulação Aberta	Combinado
Enxofre	Circulação Aberta	Combinado
Gás de Alto Forno	Circulação Aberta	Combinado
Gás de Processo	Circulação Aberta	Combinado
Gás Siderúrgico	Circulação Aberta	Combinado

foi utilizada a média mensal do histórico disponível ou, quando ausente, a potência outorgada.

Adicionalmente, foi considerada a entrada em operação de algumas novas UTEs, utilizando como referência o Boletim de Acompanhamento das Centrais Geradoras Termoelétricas (ANEEL, 2016). As usinas que constam como "sem previsão" não foram incluídas na estimativa das demandas futuras. As termoelétricas com previsão real de início de operação, consideradas no cenário futuro, são apresentadas na Tabela 12. Nesses casos, considerou-se a demanda potencial igual à da potência outorgada, até que se disponha de informações operativas. Revisões de início de operação e inclusão ou exclusão de empreendimentos serão atualizadas conforme a disponibilidade de informações.

Destaca-se ainda a recente entrada em operação de duas importantes UTEs: Maranhão III, em Santo Antônio dos Lopes (MA), com potência de 519 MW; e Mauá 3, em Manaus (AM), com potência de 591 MW.

7.3 Resultados

Mesmo sendo uma atividade de intensificação mais recente, a retirada de água por UTEs, em escala nacional, é superior à soma de todas as retiradas para mineração e abastecimento humano no meio rural.

O consumo médio, entretanto, é baixo, equivalente a 3% da retirada, uma vez que grande parte da demanda está relacionada a UTEs com sistemas de resfriamento de circulação aberta, onde quase toda a água retorna ao corpo hídrico. Há, entretanto, UTEs cujos consumos são superiores a 70% da retirada, estando relacionadas aos sistemas de resfriamento com torres úmidas.

As séries de vazões de retirada, consumo e retorno (1954-2030) para o País são apresentadas no Infográfico (Figura 47). As demandas hídricas de termoelétricas iniciam-se em 1954 na cidade de São Paulo com a inauguração da UTE Piratininga. Até 1960, a demanda concentra-se em São Paulo e no Rio Grande do Sul, totalizando 2 m³/s. Entre os anos de 1980 e 2000 observa-se uma maior distribuição espacial das termoelétricas, resultando no aumento das vazões de retirada, com registros variando de 33,6 m³/s, em 1980, a 62,6 m³/s, em 2000.

A partir dos anos 2000 houve expressivo avanço da participação da energia termoelétrica na capacidade instalada de energia elétrica (Figura 46), refletindo em aumentos na demanda hídrica - que passou de 62,6 m³/s em 2000 para 79,5 m³/s em 2017. Os Estados com demandas mais expressivas são destacados na Figura 41.

No cenário futuro, com a entrada em operação de novas unidades e a continuidade da operação das atualmente ativas, a demanda média deve alcançar 93,7 m³/s em 2021.

As termoelétricas, por questões econômicas, são operadas como fonte complementar, sendo muitas vezes acionadas de acordo com a demanda não atendida pela geração hidrelétrica, sob determinado grau de risco. Esta característica confere às termoelétricas uma condição de grande variabilidade na operação, observada no gráfico (Figura 47) a partir do ano 2000, quando passam a estar disponíveis séries de geração mensal efetiva.

A variabilidade operativa e, conseqüentemente, no uso da água é acentuada, onde são observados saltos expressivos na demanda, superando 100 m³/s em 2014 e 2015, em função do elevado nível de acionamento das UTEs em comparação com o histórico. Isso ocorreu em função das crises hídricas que afetaram expressiva-

mente a geração hidrelétrica nesses anos. Portanto, os cenários futuros de uso da água pelas térmicas podem ser altamente afetados pelas condições hidrológicas.

Resultados mais detalhados podem ser acessados em www.snirh.gov.br e www.ana.gov.br/metadados.

Nome	Município	Combustível	Potência (MW)	Operação
Pampa Sul	Candiota/RS	Carvão Mineral	340	2019
Porto de Sergipe I	Santo Amaro das Brotas/SE	Gás Natural	1.515	2020
Rio Grande	Rio Grande/RS	Gás Natural	1.238	2020

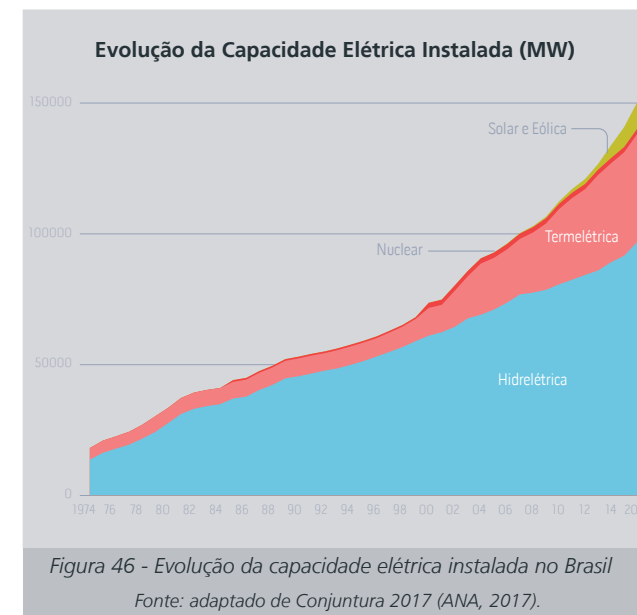
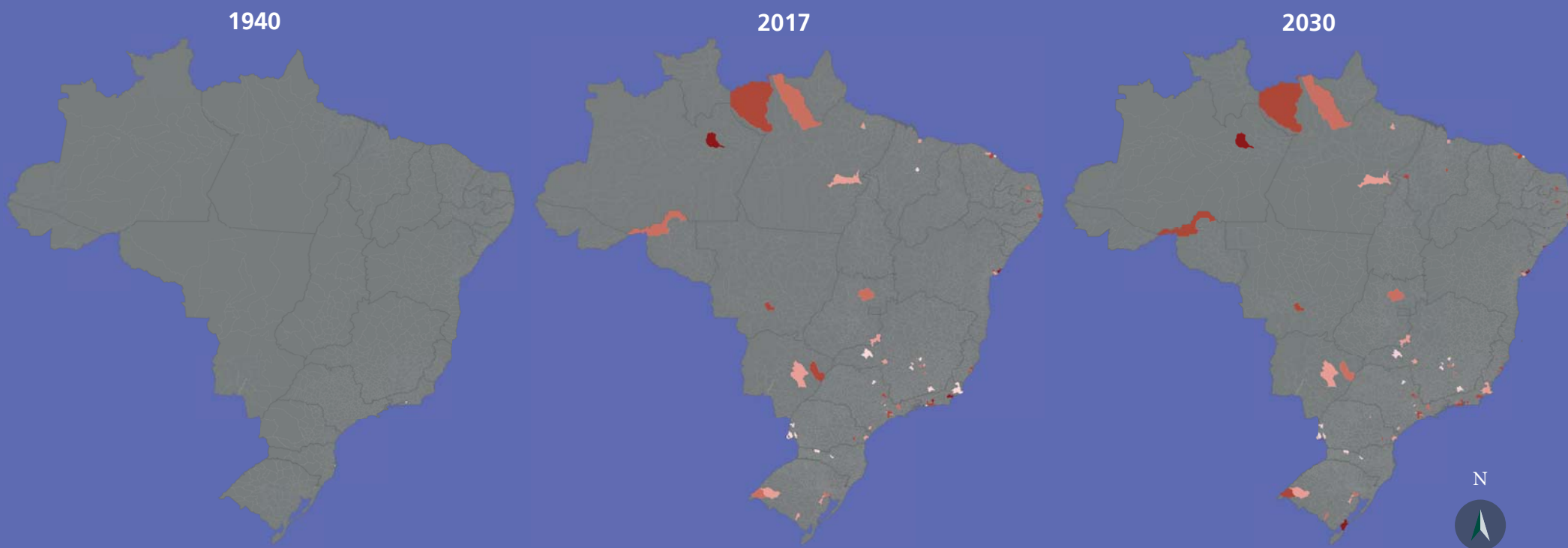
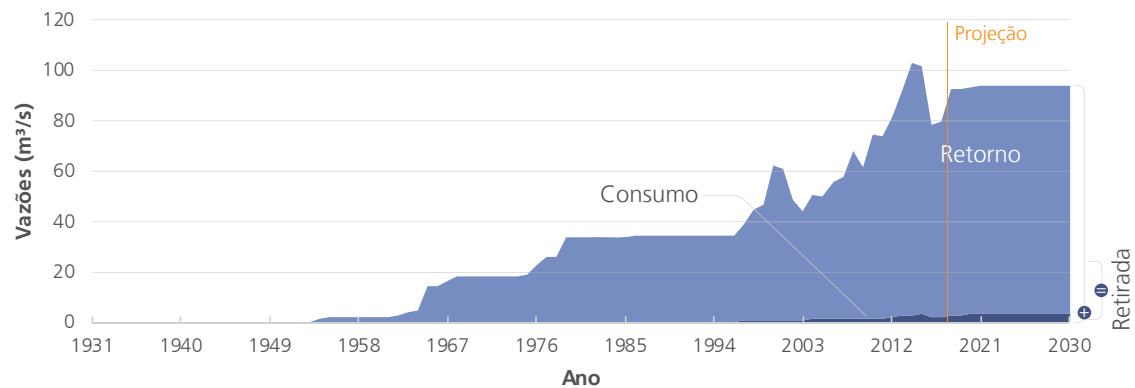
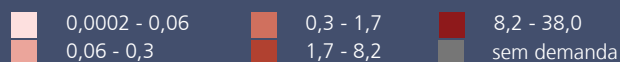


Figura 47 - Séries de Vazões 1931 a 2030 - Usinas Termelétricas



Vazões de Retirada por Município (m³/s)



Maiores Vazões Retiradas (m³/s) por Município (2017) - Termelétricas			
Ranking	UF	Município	Vazão Retirada (m³/s)
1°	RJ	Rio de Janeiro	16,246
2°	SC	Capivari de Baixo	10,620
3°	MA	Imperatriz	7,036
4°	PE	Ipojuca	6,682
5°	SP	Mogi Guaçu	4,989
6°	ES	Serra	4,872
7°	PA	Barcarena	3,750
8°	AM	Manaus	3,468
9°	RS	Canoas	2,596
10°	PA	Oriximiná	2,206

Destacam-se, em diferentes unidades da federação, demandas em municípios com concentração de termelétricas de maior porte, e que possuem alta variabilidade anual e intranual de acionamento. Observa-se no gráfico diversos anos de pico da demanda, os mais recentes em 2014 e 2015, em função de condições hidrológicas desfavoráveis para a geração hidroelétrica. Nas décadas de 1930 e 1940 não havia retirada de água para esse uso no Brasil, tendo a série iniciado em 1954 na cidade de São Paulo.

Resultados detalhados de séries históricas de usos consuntivos, para todos os municípios, podem ser acessados em www.snirh.gov.br/usuarios-da-agua.

8.1 Introdução

A evaporação líquida de reservatórios artificiais é definida como sendo a diferença entre a evaporação real de um espelho de água (evaporação bruta) e a evapotranspiração real esperada para o local do espelho, caso ele não tivesse sido implantado.

A evapotranspiração real corresponde à água transportada da superfície terrestre para a atmosfera por evaporação do solo e por transpiração das plantas, em condições ambientais reais. A evaporação de uma superfície é afetada por diversos fatores, mas depende fundamentalmente da energia disponível proveniente da radiação solar. Em superfícies livres de água, a temperatura do ar, o vento e a pressão de vapor interferem com mais intensidade no fenômeno de evaporação.

A evaporação líquida constitui-se em importante uso consuntivo múltiplo da água e é uma informação necessária, por exemplo, para reconstituição das séries de vazões naturais nas bacias que abrigam esses reservatórios. A avaliação desse uso torna-se ainda mais relevantes em cenários de escassez hídrica e crise energética. Dadas as dimensões continentais do Brasil, e conseqüente heterogeneidade hidroclimática, é um grande desafio construir bases de dados e modelos de estimativa espacialmente representativos.

Além do clima e das características dos reservatórios, a escala cartográfica e a qualidade dos mapeamentos de massas d'água são outros aspectos importantes para as estimativas de evaporação líquida. A base de dados utilizada engloba os 148 reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN) – que ocupam 31 mil km² (Figura 50) – e cerca de 7.200 outros reservatórios espalhados pelo território – a maior parte de pequeno porte e ocupando área total de 9,5 mil km². Os reservatórios do SIN são bem conhecidos e monitorados, enquanto para os demais é difícil estabelecer uma série histórica de evaporação líquida, uma vez que em geral não se dispõe de informações

8 EVAPORAÇÃO LÍQUIDA DE RESERVATÓRIOS ARTIFICIAIS

Barragem da Usina Hidrelétrica Ilha Solteira no rio Paraná
Raylton Alves Batista - Banco de Imagens/ANA

sobre a data de implantação do reservatório e sobre o histórico de variação da área do espelho d'água.

Como grandes números do uso da água para evaporação líquida de reservatórios artificiais, a Figura 48 ilustra a variação das vazões de retirada nas unidades federativas. A vazão de retirada é considerada igual ao consumo (retorno nulo). São Paulo, Minas Gerais, Bahia e Ceará são os Estados de maior consumo de água por efeito da evaporação líquida, reflexo do histórico de implantação de reservatórios de grande porte para geração hidrelétrica ou para usos múltiplos, em especial para abastecimento público.

A Figura 49 apresenta a distribuição das vazões nas regiões e destaca a maior participação do Nordeste (33%), do Sudeste (27%) e do Centro-Oeste (17%).

8.2 Método e Base de Dados

No presente estudo, a estimativa da altura de evaporação líquida foi definida a partir da relação complementar (Morton, 1983a; 1983b), sendo utilizados os modelos CRAE (*Complementary Relationship Areal Evapotranspiration*) para estimativa da evapotranspiração real e CRLE (*Complementary Relationship Lake Evaporation*) para a obtenção da evaporação real do lago. A evaporação líquida é obtida subtraindo a evapotranspiração real esperada para a área da evaporação real de lago.

Os modelos CRAE e CRLE foram automatizados pelo software WREVAP (Morton et al., 1985; McMahon et al., 2013), que tem como entrada a altitude (m) e latitude da estação meteorológica considerada, valores de temperatura média (°C), umidade relativa (%), precipitação média anual (mm) e insolação (h) (ou radiação global), sendo a temperatura e a insolação/radiação os

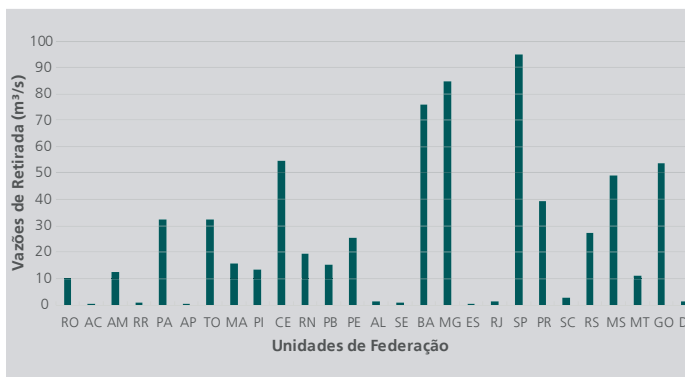


Figura 48 - Vazões de Retirada (m³/s) para Evaporação Líquida nas UFs

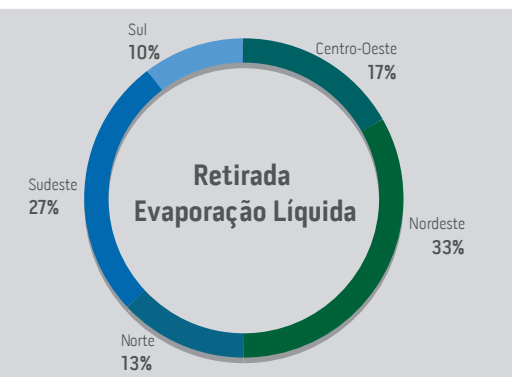


Figura 49 - Percentuais de Retirada para Evaporação Líquida em Relação à Retirada Total em Cada Região

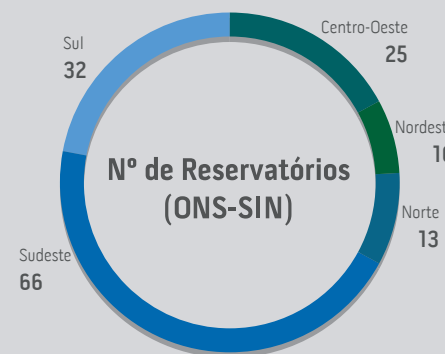
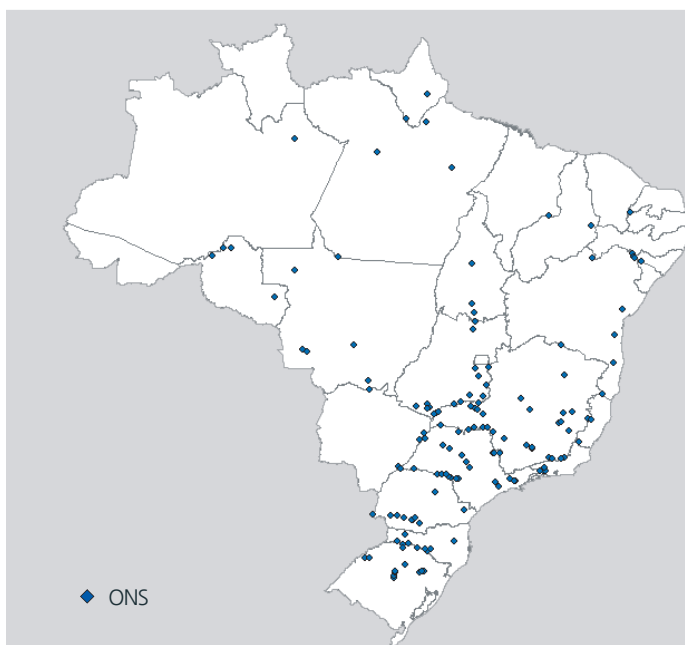


Figura 50 - Reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN), operados pelo ONS.

parâmetros de maior sensibilidade para os modelos. No modelo CRLE, a salinidade do lago foi considerada nula e todos os reservatórios classificados com profundidade constante (50 m). Desta forma, foram calculadas séries de evaporação líquida para 524 locais de estações meteorológicas convencionais e automáticas do INMET, cujas séries de dados mensais foram disponibilizados e consistidos.

Cabe destacar que as estações convencionais possuem séries longas de monitoramento, sendo disponibilizados pelo INMET, até o presente, dados a partir de 1961. As estações automáticas possuem séries mais recentes, com início a partir dos anos 2000. Foram selecionadas as estações automáticas com no mínimo 60 meses de dados e excluídas aquelas coincidentes com as convencionais. Assim foram utilizadas 524 estações meteorológicas pelo País – 263 convencionais (séries longas) e 261 automáticas (séries mais curtas com intensificação nos anos 2000).

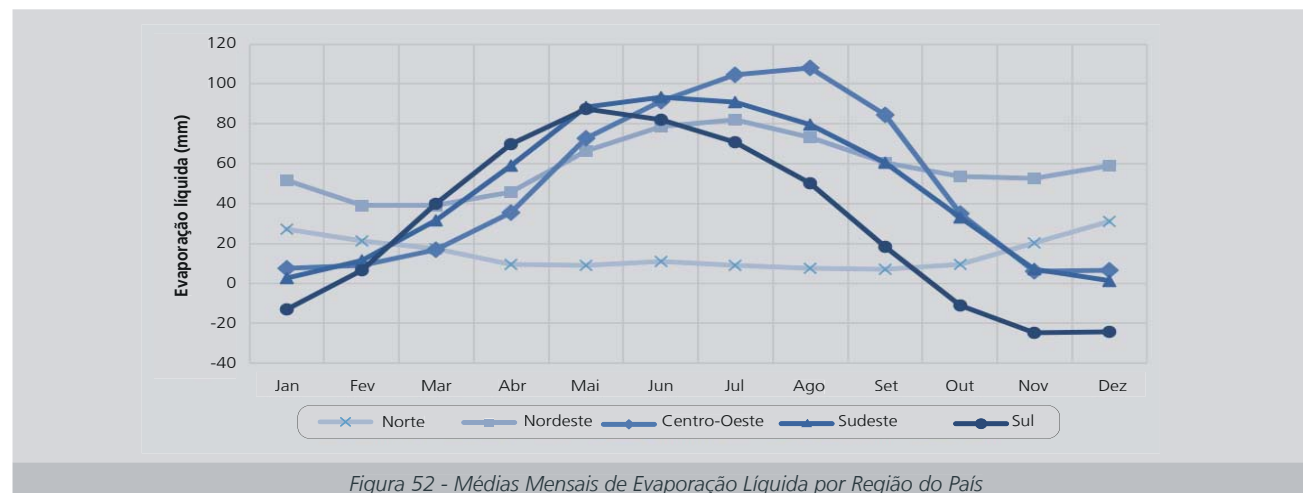
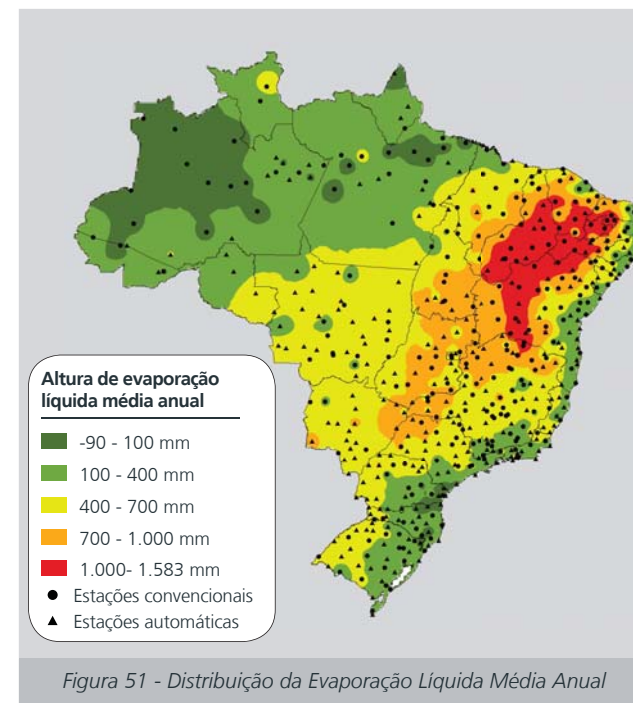
As séries mensais de altura de evaporação líquida obtidas para os locais das estações meteorológicas foram interpoladas para os locais dos demais espelhos de água artificiais. Ou seja, para cada par mês/ano foi calculada uma superfície. Foram considerados para cada reservatório os valores de pixels que intersectam a superfície mapeada, em conjunto com a área informada ou mapeada da superfície do lago.

Os cálculos podem ser efetuados para qualquer base cartográfica de massas d'água. No presente estudo, foi utilizada a base da ANA que conta com 7.360 espelhos d'água artificiais com área acima de 20 hectares (ha), sendo 148 reservatórios operados pelo ONS ocupando 31 mil km² (76,5%) e dos quais há o histórico de variação mensal de área (Figura 50). Os demais reservatórios mapeados totalizam 9,5 mil km² (23,5%) e foi utilizada uma área fixa correspondente à área mapeada.

Para a maior parte da área de massas d'água há a data de implantação e o histórico de variação mensal de área. Para os demais espelhos, é adotada uma área fixa, correspondente à área mapeada, lembrando que essa variação não tende a ser tão dinâmica quanto nos reservatórios operados pelo setor elétrico. À medida que essas informações estejam disponíveis, será possível incorporá-las à rotina de cálculo.

8.3. Resultados

A Figura 51 apresenta o mapa com a altura de evaporação líquida média anual interpolada para todo o País, juntamente com a distribuição das estações meteorológicas utilizadas no estudo. Os menores valores de evaporação líquida se concentram nas regiões Norte e Sul, o que é explicado pelos maiores valores e regularidade da precipitação. Os maiores valores esperados para o Semiárido são observados, bem como a possibilidade até mesmo de evaporações líquidas negativas em regiões úmidas da Amazônia, em função da evapotranspiração real poder superar a evaporação de um lago nas condições ambientais locais.



A Figura 52 apresenta as médias mensais de altura de evaporação líquida por região do País, destacando a magnitude e a sazonalidade.

A Figura 53 mostra o comportamento das vazões de evaporação líquida média anual, refletindo características de sazonalidade interanual. Nos reservatórios operados pelo ONS são apresentadas as séries completas desde a implantação de cada reservatório (1960 a 2017), representando a dinâmica de entrada em operação de novos reservatórios e variações climáticas e de área média dos espelhos d'água. Nesse agregado nacional, o maior salto é verificado entre os anos de 1977 e 1979 com o enchimento do lago de Sobradinho - um dos maiores lagos artificiais do mundo com 4,2 mil km², localizado em uma área de elevada altura de evaporação líquida.

Para os demais espelhos d'água, a Figura 53 apresenta as séries de evaporação líquida média anual entre 2008 e 2017.

A Figura 54 apresenta, para os reservatórios operados pelo ONS, a correlação entre os valores obtidos pelo WREVAP/ANA e aqueles obtidos anteriormente pelo ONS com o projeto SisEvapo (ONS, 2003; 2004). Os valores médios das duas estimativas são semelhantes para o País, embora a amplitude sazonal seja maior para as séries calculadas pela ANA, especialmente no período seco de aproveitamentos localizados no Centro-Sul (áreas de Cerrado), o que leva a um aumento dos valores estimados para aproveitamentos dessa região.

Embora ambas as estimativas adotem a relação complementar de Morton (1983) operacionalizada pelos modelos CRAE e CRLE, bem como as áreas médias mensais dos espelhos, as séries de dados climatológicos são bastante diferentes: em ANA consideram-se os valores mensais observados em 524 estações meteorológicas pelo País – 263 convencionais (séries longas) e 261 automáticas (séries mais curtas com in-

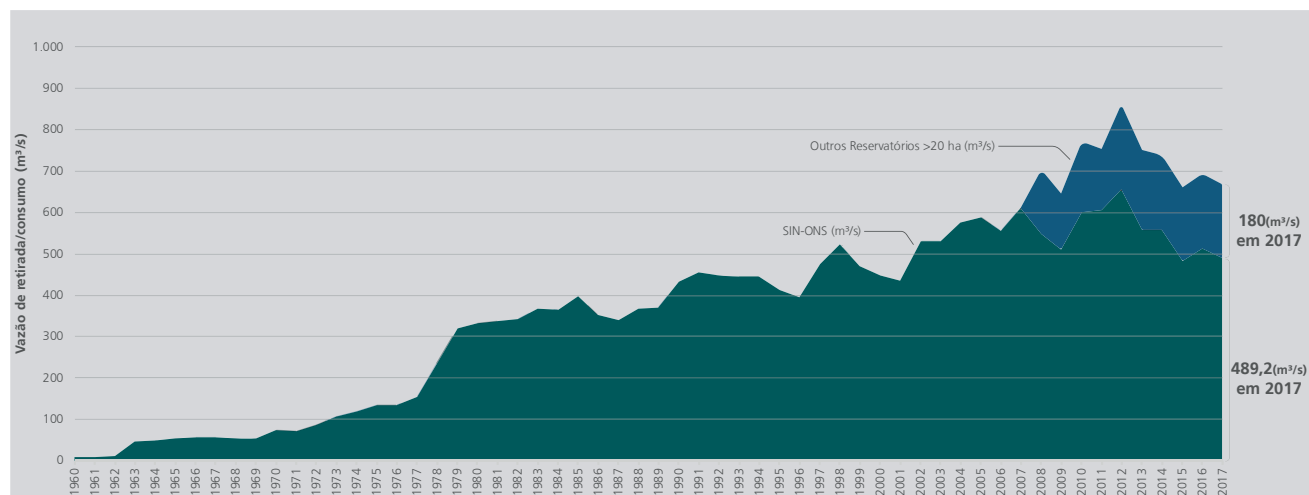


Figura 53 - Vazões médias estimadas para os Reservatórios do Setor Elétrico (SIN) e Demais Espelhos de Água Artificiais

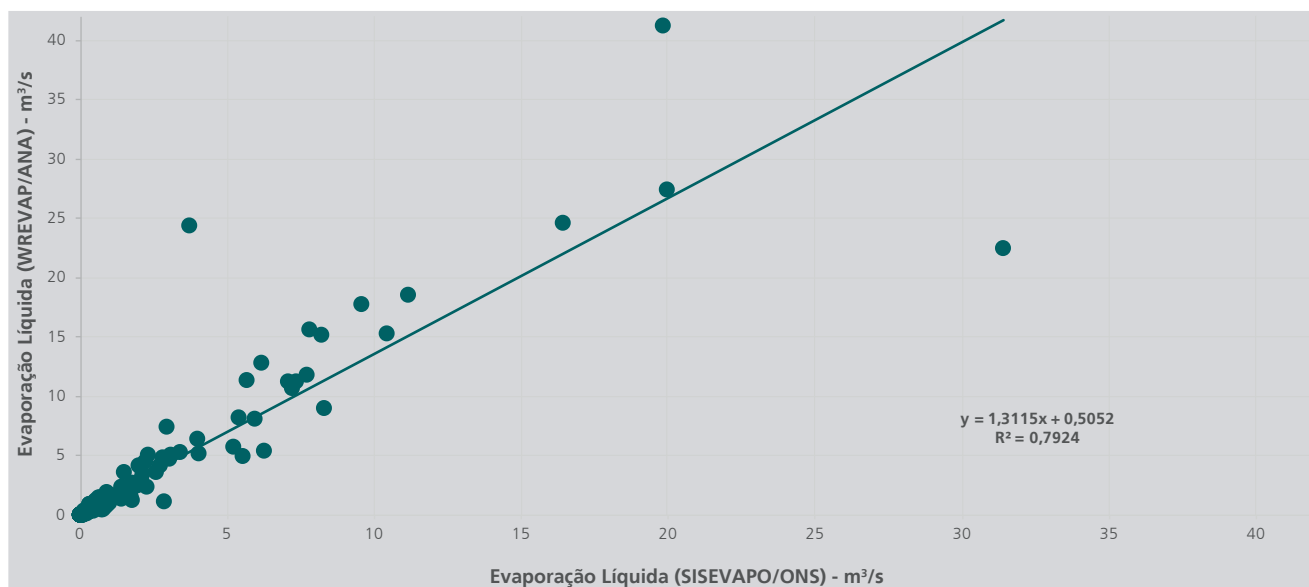


Figura 54 - Comparação das Vazões Totais Anuais das UHEs calculadas pelo SisEvapo/ONS e WREVAP/ANA.

tensificação nos anos 2000). No caso do estudo do ONS foram calculados 12 valores fixos mensais utilizando 205 estações com normais climatológicas entre 1961-1990. Diferenças nos métodos de regionalização dos dados no SisEvapo e no WREVAP/ANA, bem como os diferentes ajustes e versões de programação dos modelos CRAE e CRLE, também podem explicar diferenças nos resultados.

Considerando a consolidação dos resultados para a base de massas d'água utilizada, os reservatórios do Sistema Interligado Nacional (SIN/ONS) totalizaram em 2017 uma vazão média anual de 489,2 m³/s, e os demais 179,9 m³/s. A proporção de demanda (73,1% e 26,9%, respectivamente) é similar à proporção de área (74,5% x 25,5%). A Figura 55 mostra a espacialização desses resultados com destaque aos reservatórios com demanda superior a 1 m³/s em 2017.

A vazão total de retirada/consumo de evaporação líquida foi de 669,1 m³/s em 2017, posicionando esse uso como o segundo maior do País. Assim como a irrigação (retirada de 1.083 m³/s e consumo de 792 m³/s), a evaporação líquida apresenta amplitudes sazonais expressivas e seu comportamento é altamente influenciado pelas condições hidrometeorológicas intra e interanuais.

Considerando o mesmo universo de reservatórios, a demanda de evaporação líquida pode totalizar 759 m³/s em anos com características médias de clima e de operação. Em 2012, com condições climáticas mais secas que a média observada, a evaporação líquida foi da ordem de 850 m³/s (Figura 53).

Por fim, ressalta-se que os resultados atualmente produzidos representam um salto importante de qualidade na consolidação de bases de dados e na automatização dos cálculos de evaporação líquida. Ao mesmo tempo, outros aprimoramentos continuarão sendo objeto de estudos da ANA.

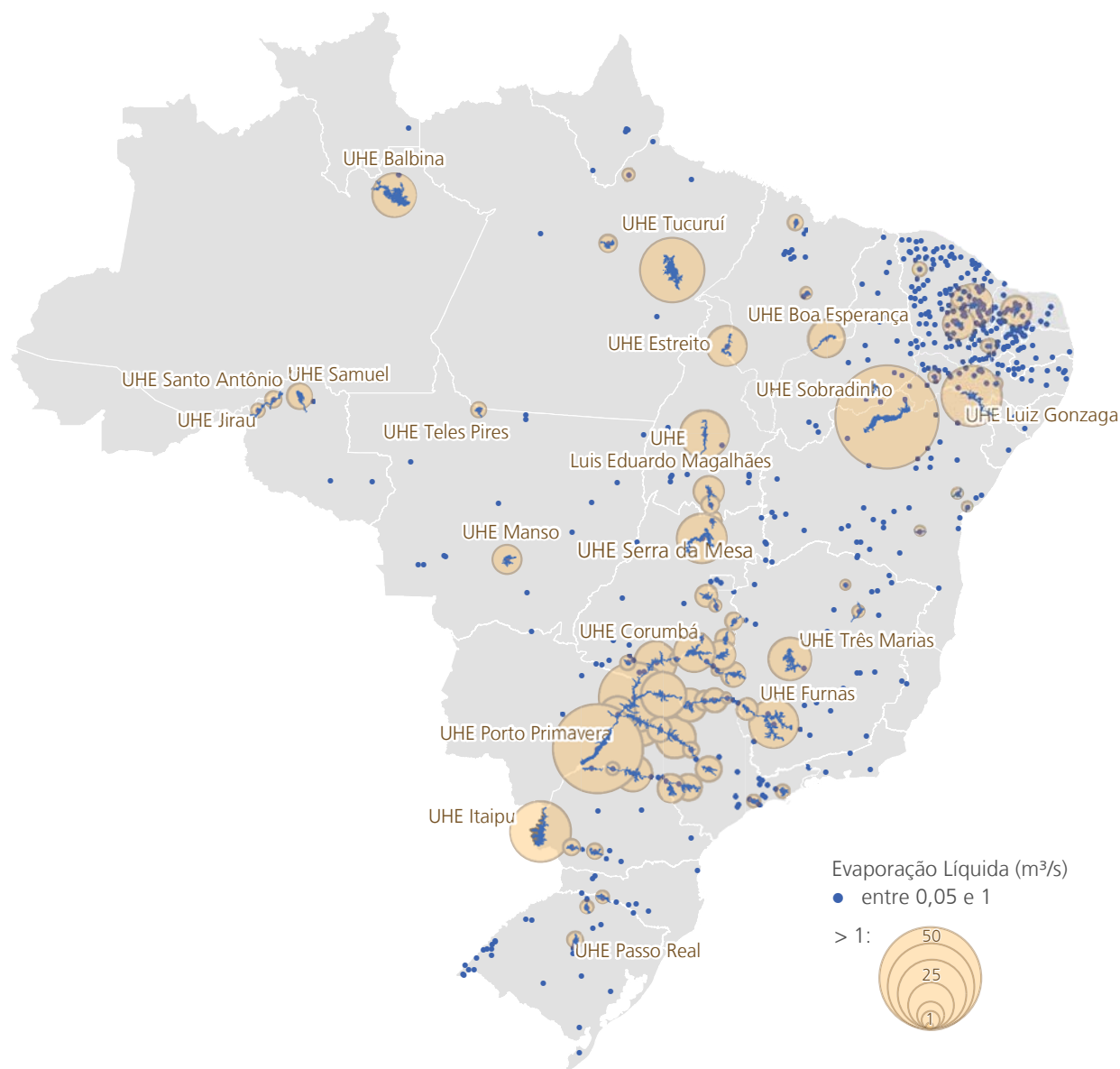


Figura 55 - Vazões de Evaporação Líquida de massas d'água artificiais (acima de 0,05 m³/s).



CONSIDERAÇÕES FINAIS

Região Hidrográfica do Amazonas - Amazonas, Acre, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso
Rui Faquini - Banco de Imagens/ANA

O planejamento e a gestão dos recursos hídricos no Brasil demandam informações precisas e atualizadas sobre o balanço hídrico, ou seja, sobre a relação entre a oferta e os usos da água.

Os estudos sobre a oferta da água avançaram expressivamente ao longo das últimas décadas, contando com a ampliação da rede hidrometeorológica e da disponibilização de séries históricas de dados. O aperfeiçoamento dos modelos hidrológicos e da base hidrográfica otocodificada, aliados aos novos desenvolvimentos tecnológicos, têm contribuído para a caracterização mais precisa da disponibilidade hídrica nacional. A incorporação das mudanças climáticas e seu impacto na oferta tem sido uma nova fronteira de investigação nos estudos de planejamento.

Com relação às demandas, diversos esforços de aprimoramento também têm sido empreendidos pela Agência Nacional de Águas - ANA, seguindo duas vertentes. A primeira refere-se ao constante aprimoramento metodológico e tecnológico. A segunda vertente de atuação consiste na produção, refinamento ou recuperação de bases de dados consistidas, ou seja, dos dados primários e secundários de entrada para os modelos de estimativas.

O Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil é um importante produto de sistematização dos esforços no sentido de melhoria e padronização das estimativas. Com isso, consolida e amplia os esforços recentes para a estimativa de usos da água em todos os municípios do território, em um horizonte de 100 anos, incluindo, de forma inédita, projeções futuras (1931-2030). Além da revisão dos usos tradicionalmente levantados – abastecimento humano (urbano e rural), abastecimento animal, indústria de transformação, mineração e irrigação – foram incorporadas as estimativas de uso por termoeletricas e por evaporação líquida de reservatórios artificiais (uso múltiplo).

Por trás dos resultados gerados há grande esforço na montagem de uma base de dados geoespacial consistente e atualizável, que permitirá a constante incorporação de desenvolvimentos metodológicos, tecnológicos e em bases de dados.

Nesse aspecto, deve-se destacar a importância do fortalecimento de parcerias com instituições produtoras de dados e de pesquisas, tais como a CONAB, a EMBRAPA, o IBGE e as Universidades, em âmbito nacional; além de organismos internacionais como FAO e United States Geological Survey (USGS). A parceria com as Unidades da Federação também deve ser aprimorada e fortalecida.

Com a ampla divulgação e transparência dos resultados, espera-se também que os usuários dessas informações contribuam para o aperfeiçoamento das metodologias e das bases de dados, especialmente quando da condução de análises setoriais e em escala municipal ou microrregional.

A identificação e a quantificação dos usos atuais e potenciais nas sub-bacias hidrográficas brasileiras, por setor econômico, representa também uma oportunidade de aprimorar o processo participativo na gestão da água e na definição de agendas operativas com foco de atuação setorial e priorização em bacias com problemas de balanço entre a oferta e a demanda de recursos hídricos.

Essa nova base técnica passa a ser a referência nacional sobre os usos da água para as políticas de recursos hídricos, segurança hídrica, saneamento, irrigação e desenvolvimento regional, todas sob a responsabilidade do recém-criado MDR, além da interface com a política energética, considerando a matriz nacional predominantemente hidrelétrica. Na esfera do sistema de gestão de recursos hídricos, será aplicada no aprimoramento dos instrumentos de gestão previstos

na Lei das Águas, notadamente nos Planos de Recursos Hídricos e nos processos de concessão de outorga de uso da água. Assim, as novas estimativas de usos estarão na base do Plano Nacional de Recursos Hídricos 2021-2035, orientando tanto a formulação quanto a implementação e o monitoramento desse importante instrumento da Política Nacional de Recursos Hídricos.

Na esfera setorial, essa base fornece aos setores produtivos um novo panorama e uma visão de futuro dos usos da água e do balanço hídrico nas bacias hidrográficas do território nacional, balizando as análises de risco e de sustentabilidade hídrica dos empreendimentos. O planejamento do Estado brasileiro junto aos setores contará com essas informações de referência, orientando importantes instrumentos como os Planos Nacional e Estaduais de Irrigação e as revisões do Plano Nacional de Energia.

A ampliação do conhecimento sobre os usos da água tem rebatimentos importantes sobre as análises de segurança hídrica – conceito que inclui a garantia da oferta de água para o abastecimento humano e para as atividades produtivas. Esse conhecimento subsidia o direcionamento tanto da gestão da oferta hídrica (infraestrutura hídrica, operação de reservatórios, alocação negociada de água) quanto a gestão da própria demanda (uso racional, controle da demanda, redução de perdas em sistemas de abastecimento). Nesse aspecto, cabe destacar a incorporação dos resultados desse estudo no Plano Nacional de Segurança Hídrica.

Por fim, reitera-se que resultados desagregados das séries de usos consuntivos geradas no estudo (1931-2030), por setor usuário e município, bem como mapas interativos, painéis de indicadores e outros conteúdos, podem ser acessados no portal do Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos – SNIRH, em www.snirh.gov.br > Usos da Água.



Rio Grande, a jusante da UHE Mascarenhas de Moraes (MG)
Raylton Alves / Banco de Imagens ANA

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (Brasil). **Programa de ações estratégicas para o gerenciamento integrado da bacia do rio São Francisco e da sua zona costeira**: relatório final. Brasília: ANA, 2004.

_____. **Disponibilidade e Demandas de Recursos Hídricos no Brasil**. Cadernos de Recursos Hídricos. Brasília: ANA, 2005, 134p.

_____. **Relatório de Conjuntura dos Recursos Hídricos 2009**. Brasília: ANA, 2009, 204 p.

_____. **Atlas Brasil**: abastecimento urbano de água: panorama nacional. Brasília: ANA, 2010.

_____. **Manual de procedimentos técnicos e administrativos de outorga de direito de uso de recursos hídricos**. Brasília: ANA, 2013a, 252 p.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil: 2013**. Brasília: ANA, 2013b, 432p.

_____. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil: informe 2015**. Brasília: ANA, 2015, 88 p.

_____. **Estudo de Modelagem Quantitativa e Qualitativa de Trechos de Rio em Bacias Hidrográficas Consideradas Críticas**: resumo executivo. Brasília: ANA, 2016.

_____. **Água na Indústria**: uso e coeficientes técnicos. Brasília: ANA, 2017a, 76 p.

_____. **Atlas Irrigação**: uso da água na agricultura irrigada. Brasília: ANA, 2017b, 86 p.

_____. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil 2017**: relatório pleno. Brasília: ANA, 2017c, 177 p.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Canal Sistema Barragem - Pedra Do Cavallo - BA
Eraldo Peres - Banco de Imagens/ANA

- _____. **Levantamento da cana-de-açúcar irrigada na Região Centro-Sul do Brasil**. Brasília: ANA, 2017d.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Boletim de Acompanhamento das Centrais Geradoras Termelétricas**. Brasília: ANEEL, 2016.
- ALLEN, R. G.; PEREIRA, L. S.; RAES, D.; SMITH, M. **Crop Evapotranspiration: guidelines for computing crop water requirements**. FAO Irrigation and Drainage Paper, n. 56. Rome: FAO, 1998.
- AMARAL, L. G. H. do; RODRIGUEZ, R. del G.; PRUSKI, F. F.; RAMOS, M. M. Vazão retirada e consumo efetivo de água em diferentes sistemas de irrigação do arroz. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 13, n. 3, p. 178-192, jul./set. 2005. Disponível em: <<http://www.ufv.br/dea/reveng/arquivos/Vol13/v13n3p178-192.pdf>>.
- ARROYO, E. M. V. **Proposta metodológica para avaliação da vulnerabilidade da geração termelétrica a carvão mineral no Brasil às mudanças climáticas**. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético). Rio de Janeiro: UFRJ/COPPE, 2012, 176 p.
- AVERYT, K. et al. **Freshwater use by U.S. power plants: electricity's thirst for a precious resource**. Cambridge/MA: Union of Concerned Scientists, 2011.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Plano Nacional de Recursos Hídricos**: Síntese executiva. Brasília, DF, 2006. 135 p.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Plano Nacional de Energia 2030**. Brasília: MME: EPE, 2007.
- _____. **Plano Nacional de Mineração 2030**. Brasília: MME, 2011b.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Brasil Projeções do Agronegócio 2010/2011 a 2020/2021**. Brasília: MAPA, 2011a.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Secretaria de Recursos Hídricos. **Desenvolvimento de matriz de coeficientes técnicos para recursos hídricos no Brasil**: relatório final dos coeficientes técnicos de recursos hídricos das atividades industrial e agricultura. [S.l. : s.n.], 2011.
- BRASIL. Ministério das Cidades. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2016. Brasília: SNSA/MCidades, 2018, 220 p. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: 10 out. 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (Brasil). **Indústria em números (março/2017)**. Brasília: CNI, 2017, 8 p.
- COSTA, A.D.M. **Quantificação de atributos físicos de solos de várzea, relacionados com a disponibilidade de água, o espaço aéreo e a consistência do solo**. Dissertação (Mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1993, 134p.
- DELGADO, A.; HERZOG, H. J. **A simple model to help understand water use at power plants**. Massachusetts Institute of Technology: Energy Institute, 2012.
- DEPARTMENT OF WATER AFFAIRS AND FORESTRY (DWAFF). South African Water Quality Guidelines. **Livestock Watering**. ed. 2, 1996, 163 p.
- EMBRAPA. **Cultivo do arroz irrigado no Brasil**. Embrapa Clima Temperado, 2003. Disponível em: <<http://www.cpact.embrapa.br/sistemas/arroz/>>. Acesso em: 09 maio 2005.
- _____. **Estimando o Consumo de Água de Suínos, Aves e Bovinos em uma Propriedade**. Cartilha. Concórdia/SC: Embrapa Suínos e Aves, 2005.
- _____. **Consumo de água na produção animal**: comunicado técnico 102. São Carlos/SP: Embrapa Pecuária Sudeste, 2013, 6p.
- _____. **Dados conjunturais da produção de arroz (Oryza sativa L.) no Brasil (1986 a 2017)**: área, produção e rendimento. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2017. Disponível em: <<http://www.cnpaf.embrapa.br/socioeconomia/index.htm>>. Acesso em: 20 out. 2018.
- FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Outlook Fiesp 2025**: projeções para o agronegócio brasileiro. São Paulo: FIESP, 2015.
- FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (FAO). **Livestocks's Long Shadow**: Environmental issues and options, FAO, 2006.
- GLEICK, P. et al. **Waste not, want not**: the potential for urban water conservation in California. [S.l.]: Pacific Institute, 2003
- GOMES, A. do S.; PAULETTO, E.A. (Ed.) **Manejo do solo e da água em áreas de várzea**. Pelotas: EMBRAPA Clima Temperado, 1999. 201p.
- GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.
- IBGE. **Estatísticas do Século XX**. Rio de Janeiro: IBGE, 2006, 577 p

- _____. **Censo Agropecuário 2006**. Rio de Janeiro: IBGE, 2009.
- _____. **Evolução da divisão territorial do Brasil 1872 - 2010**: conteúdo digital, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/geografia/default_evolucao.shtm>. Acesso em: 11 set. 2014.
- _____. **Projeções da População**: Brasil e Unidades da Federação. Série Relatórios Metodológicos, v. 40. Rio de Janeiro: IBGE, 2013a, 40 p.
- _____. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 41, p.1-108, 2013b.
- _____. **Pesquisa Industrial**: empresa. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n. 1, p. 1-44, 2016a.
- _____. **Pesquisa Industrial**: produto. Rio de Janeiro: IBGE, v. 35, n.2, p.1-20, 2016b.
- _____. **Produção da Pecuária Municipal**. Rio de Janeiro: IBGE, v. 45, p.1- 17, 2017.
- IDAHO DEPARTMENT OF WATER RESOURCES (IDWR). **Domestic, Commercial, Municipal and Industrial Water Demand Assessment and Forecast in Ada and Canyon Counties**. Idaho: [s.n.], 2001.
- INSTITUTO DAS ÁGUAS DO PARANÁ. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado do Paraná**: Relatório 1.1.: Diagnóstico das Demandas e Disponibilidades Hídricas Superficiais. Curitiba, 2010.
- INSTITUTO DE ENERGIA E MEIO AMBIENTE. **Uso de água em termoelétricas**. Série Termoeletricidade em foco. São Paulo: IEMA, 2016, 34 p.
- INSTITUTO DE MEIO AMBIENTE DE MATO GROSSO DO SUL (IMASUL). SECRETARIA DE ESTADO DE MEIO AMBIENTE, DO PLANEJAMENTO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos do estado de Mato Grosso do Sul**. Campo Grande: IMASUL: SEMAC, 2010.
- INSTITUTO RIOGRANDENSE DO ARROZ (IRGA). **Cultivares**. [S.l. : s.n.], 2005. Disponível em: <<http://www.irga.rs.gov.br/arquivos/cultivares.pdf>>. Acesso em: 09 maio 2005.
- KONIG, O. **Rendimento do milho sob três níveis estáticos de drenagem e irrigação sub-superficial em plano-sol (RS)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Santa Maria: Departamento de Engenharia Rural, Universidade Federal de Santa Maria, 1983, 85p.
- MACHADO, R.L.; TURATTI, A.L.; MACHADO, A.L.; ALONÇO, A.S.; REIS, A. Estudo de parâmetros físicos em solo de várzea, antes e após escarificação. **Revista Brasileira de Agrociência**, v.2, n.3, p.175-178, 1996.
- MARCHEZAN, E. et al. Desempenho de genótipos de arroz irrigado cultivados no sistema pré-germinado com inundação contínua. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.34, n.5, p.1349-1354, 2004.
- MAUPIN, M.A. et al. **Estimated use of water in the United States in 2010**: U.S.Geological Survey Circular 1405, 2014.
- McMAHON, T.A.; PEEL, M.C.; LOWE, L.; SRIKANTHAN, R.; McVICAR, T.R. **Estimating actual, potential, reference crop and pan evaporation using standard meteorological data**: a pragmatic synthesis. *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 1331–1363, 2013.
- Disponível em: <<http://www.hydrol-earth-syst-sci.net/17/1331/2013/>>. Acesso em: 08 mar. 2017.
- MEDEIROS, A. M. **Bases metodológicas para a incorporação da variável ambiental no planejamento da expansão termelétrica no Brasil**. Dissertação de mestrado. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2003, 126 p.
- MORTON, F.I.; RICARD, F.; FOGARASI, S. **Operational estimates of areal evapotranspiration and lake evaporation**: Program WREVP. NHRI Paper 24. Ottawa: National Hydrology Research Institute, 1985.
- MORTON, F.I. Operational estimates of areal evaporation and their significance to the science and practice of hydrology. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 1-76, 1983a.
- _____. Operational estimates of lake evaporation. **Journal of hydrology**, v. 66, p. 77-100, 1983b.
- NORTHERN IRELAND ENVIRONMENT AGENCY (NIEA). **How to Calculate Water Usage on Farms**. [S.l. : s.n.], 2009, 10p.
- ONTARIO MINISTRY OF AGRICULTURE, FOOD AND RURAL AFFAIRS - OMAFRA (Canada). **Water Requirements of Livestock**. Ontario, Canada, 2009.
- OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO (ONS). **Estimativa das vazões para atividades de uso consuntivo da água em bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. [S.l. : s.n.], 2003a.
- _____. **Vetores de Evaporação Líquida para o Subsistema Nordeste** (ONS-NT-074/2003). Rio de Janeiro: ONS, 2003b, 41 p.

_____. **Evaporações líquidas nas usinas hidrelétricas**. Rio de Janeiro: ONS, 2004, 61 p.

_____. **Estimativas das Vazões para as Atividades de Uso Consuntivo da Água em Bacias do Sistema Interligado Nacional – SIN**. Brasília: ONS: FAHMA-DZETA: ANA: ANEEL: MME, 2005.

ORANGE, M.N. et al. California Simulation of Evapotranspiration of Applied Water and Agricultural Energy Use in California. **Journal of Integrative Agriculture**, 12(8), p. 1371-1388, 2013.

PEREIRA, R.M. et al. Viabilidade econômica da irrigação de cana-de-açúcar no cerrado brasileiro. **Irriga & Inovagri**, Botucatu, SP, p. 149-157, 2015.

PETRINI, J.A. et al. **Sistema de cultivo de arroz pré-germinado e transplante de mudas**. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JUNIOR, A. M. Arroz irrigado no Sul do Brasil. Brasília: EMBRAPA Informação Tecnológica, 2004.

ROSSATO, L. **Estimativa da capacidade de armazenamento de água no solo do Brasil**. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001, 139 p.

ROSSATO, L.; ALVALÁ, R. C. S.; TOMASSELLA, J. Variação espaço-temporal da umidade do solo no Brasil: análise das condições médias para o período de 1971-1990. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, p.113 - 122, 2004.

SCARPARE, F. V. et al. Sugarcane water footprint under different management practices in Brazil: Tietê/Jacaré watershed assessment. **Journal of Cleaner Production**, ELSEVIER, 1-9, 2015.

SHAFFER, K; RUNKLE, D. **Consumptive Water-Use Coefficients for the Great Lakes Basin and Climatically Similar Areas**. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 5197. Virginia: USGS, 2007.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Arroz irrigado: recomendações técnicas da pesquisa para o Sul do Brasil**. Itajaí/SC: SOSBAI, 2003.

STILLWELL, A.S.; KING, C.W.; WEBBER, M.E; DUNCAN, I.J.; HARDBERGER, A. The Energy-Water Nexus in Texas. **Ecology and Society**, v. 16(1), n 2, 2011. Disponível em: <<http://www.ecologyandsociety.org/vol16/iss1/art2/>>. Acesso em: 12 fev. 2016.

SUPERINTENDÊNCIA DE DESENVOLVIMENTO DE RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL - SUDERHSA (Estado do Paraná). **Manual Técnico de Ourgas**. Curitiba: SUDERHSA, 2006, 107 p.

SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE (SUDENE). **Plano de Aproveitamento Integrado dos Recursos Hídricos do Nordeste – PLIRHINE**. Recife/PE: SUDENE, 1980.

TOMASSELLA, J., HODNETT, M.G., ROSSATO, L. Pedo-transfer functions for the estimation of soil water retention in Brazilian soils. **Soil Science Society of America Journal**, 64, 327-338, 2000.

TRONCHONI, J.G. Pré-germinação e semeadura. In: ENCONTRO ESTADUAL DO SISTEMA PRÉ-GERMINADO EM ARROZ IRRIGADO, 1., Pelotas, 1995. **Resumos...** Pelotas: EMBRAPA-CPACT, 1995, p.41-45.

U.K. Environment Agency (EA-UK). **Waterwise on the Farm: a simple guide to implementing a water management plan**. UKEA: 2007.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS. **Cenários para a Pecuária de Corte Amazônica**. Belo Horizonte: Ed. IGC/UFMG, 2015, 146 p. Disponível em: <http://csr.ufmg.br/pecuaria/>. Acesso em: 11 fev. 2017.

U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA). **Irrigation water requirements**. Tech. Rel. n. 21, 1970.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY (USGS). **Method for Estimating Water Withdrawals for Livestock in the United States**: 2005. [S.l.]: USGS, 2009.

VASCONCELLOS, E.B. **Levantamento dos atributos físicos e hídricos de três solos de várzea do Rio Grande do Sul**. Dissertação (mestrado em Agronomia). Pelotas: UFPEL-FAEM, 1995, 120 p..

WARD D.; McKAGUE K. Water requirements of livestock. **FactsSheet**. v. 5, p. 07-23, 2007.

WEBER, L.; MARCHEZAN, E.; CARLESSO, R.; MARZARI, V. Cultivares de arroz irrigado e nutrientes na água de drenagem em diferentes sistemas de cultivos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.33, n.1, p.27-33, 2003.

Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil



MINISTÉRIO DO
DESENVOLVIMENTO REGIONAL

